

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
551**

Deuxième édition
Second edition
1987

**Détermination des niveaux de bruit
des transformateurs et des bobines
d'inductance**

**Determination of transformer and reactor
sound levels**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 551: 1987

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraires

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraires et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraires à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
551**

Deuxième édition
Second edition
1987

**Détermination des niveaux de bruit
des transformateurs et des bobines
d'inductance**

**Determination of transformer and reactor
sound levels**

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Définitions	6
3. Appareils de mesure	8
4. Conditions de mesure	8
5. Mesure des niveaux de pression acoustique	10
6. Calcul du niveau de pression acoustique surfacique et du niveau de puissance acoustique	18
7. Présentation des résultats	22
FIGURES.....	28
ANNEXE A – Méthode de qualification de l'environnement d'essai	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Definitions	7
3. Instruments	9
4. Conditions for measurement	9
5. Measurement of sound pressure levels	11
6. Calculation of surface sound pressure level and sound power level	19
7. Presentation of results	23
FIGURES	28
APPENDIX A – Test environment qualification procedure	35

Withd 2014

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60551:1987

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DÉTERMINATION DES NIVEAUX DE BRUIT DES TRANSFORMATEURS
ET DES BOBINES D'INDUCTANCE**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure de Deux Mois	Rapports de vote
14(BC)58	14(BC)66	14(BC)67 14(BC)68	14(BC)69 14(BC)70

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications nos
- 76: Transformateurs de puissance.
 - 76-1 (1976): Première partie: Généralités.
 - 289 (1968): Bobines d'inductance.
 - 651 (1979): Sonomètres.
 - 726 (1982): Transformateurs de puissance de type sec.

Autre publication citée:

- Norme ISO 3746 (1979): Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit – Méthode de contrôle.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DETERMINATION OF TRANSFORMER AND REACTOR SOUND LEVELS

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 14: Power transformers.

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Reports on Voting
14(CO)58	14(CO)66	14(CO)67 14(CO)68	14(CO)69 14(CO)70

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Reports indicated in the above table.

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 76: Power transformers.
76-1 (1976): Part 1: General.
289 (1968): Reactors.
651 (1979): Sound level meters.
726 (1982): Dry-type power transformers.

Other publication quoted:

ISO Standard 3746 (1979): Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Survey method.

DÉTERMINATION DES NIVEAUX DE BRUIT DES TRANSFORMATEURS ET DES BOBINES D'INDUCTANCE

1. Domaine d'application

La présente norme définit les méthodes par lesquelles les niveaux de bruit des transformateurs, des bobines d'inductance et de leurs dispositifs de refroidissement associés doivent être mesurés de telle sorte que l'on puisse contrôler la conformité à des exigences spécifiées et déterminer les caractéristiques du bruit émis en service.

Cette norme s'applique aux mesures effectuées dans les ateliers du constructeur, car les conditions peuvent être très différentes lorsque les mesures sont faites sur place, en raison de la proximité d'objets étrangers, de bruits de fond extérieurs, etc. Néanmoins, les mêmes règles générales que celles qui figurent dans la présente norme peuvent être suivies en cas de mesures effectuées sur place.

Dans les cas où l'on dispose, à l'usine, d'une puissance suffisante pour permettre la pleine excitation des bobines d'inductance, les méthodes à suivre pour celles-ci sont les mêmes que pour les transformateurs. De telles mesures nécessitent un accord entre le constructeur et l'acheteur. Dans les autres cas, les mesures peuvent être effectuées sur place si les conditions y sont appropriées.

Les méthodes indiquées sont applicables aux transformateurs et aux bobines d'inductance concernés par les Publications 76, 726 et 289 de la CEI, sans autre limite de puissance ou de tension, lorsqu'ils sont munis de leurs auxiliaires normaux, pour autant que ceux-ci aient une influence sur le résultat de la mesure.

Bien que le texte suivant ne se réfère qu'aux transformateurs, il s'applique également aux bobines d'inductance étant donné qu'il est connu que le courant absorbé par une bobine d'inductance dépend de la tension appliquée et que, par conséquent, une bobine d'inductance ne peut pas être essayée à vide.

La présente norme fournit une base pour le calcul des niveaux de puissance acoustique.

Les méthodes de mesure, ainsi que la méthode de qualification de l'environnement d'essai donnée dans l'annexe A, sont conformes à la Norme ISO 3746. Les mesures effectuées selon la présente norme de la CEI donnent généralement des écarts types inférieurs ou égaux à 3 dB.

2. Définitions

Les définitions suivantes s'appliquent dans le cadre de la présente norme.

2.1 Niveau de pression acoustique, L_p

Valeur exprimée en décibels, égale à 20 fois le logarithme de base 10 du rapport entre la pression acoustique et la pression acoustique de référence.

Note. — Dans le cadre de la présente norme, on utilise des niveaux de pression acoustique, avec réseau de pondération A, L_{pA} = niveau de pression acoustique pondéré A. La pression acoustique de référence est de 20 μ Pa.

2.2 Niveau pondéré A de pression acoustique surfacique, $\overline{L_{pA}}$

Niveau pondéré A de pression acoustique moyenné sur la surface de mesure, exprimé en décibels, conformément à l'article 6.

DETERMINATION OF TRANSFORMER AND REACTOR SOUND LEVELS

1. Scope

This standard defines the methods by which the sound levels of transformers, reactors and their associated cooling equipment shall be determined so that compliance with any specification requirements may be confirmed and the characteristics of the noise emitted in service determined.

This standard is intended to apply to measurements made in the manufacturer's works since conditions may be very different when measurements are made on site because of the proximity of other objects, background extraneous noises, etc. Nevertheless, the same general rules as are given herein may be followed when on-site measurements are made.

In those cases where sufficient power is available in the factory to permit full energization of reactors, the methods to be followed are the same as for transformers. Such measurements shall be made by agreement between the manufacturer and the purchaser. Alternatively, measurements may be made on site where conditions are suitable.

The methods are applicable to transformers and reactors covered by IEC Publications 76, 726 and 289, without further limitation as regards size or voltage and when fitted with their normal auxiliary equipment, inasmuch as it may influence the measurement result.

Although the following text refers only to transformers, it is equally applicable to reactors provided that it is recognized that the current taken by a reactor is dependent on the voltage applied and, consequently, that a reactor cannot be tested at no-load.

This standard provides a basis for calculation of sound power levels.

The methods of measurement and the environmental qualification procedure given in Appendix A are in accordance with ISO Standard 3746. Measurements made in conformity with this IEC standard tend to result in standard deviations which are equal to or less than 3 dB.

2. Definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply.

2.1 Sound pressure level, L_p

The value in decibels equal to twenty times the logarithm to the base of 10 of the ratio of the sound pressure to the reference sound pressure.

Note. — For the purposes of this standard, A-weighted values of L_p are used, i.e., L_{pA} = A-weighted sound pressure level, and the reference sound pressure is 20 μ Pa.

2.2 A-weighted surface sound pressure level, $\overline{L}_{pA}$

The A-weighted sound pressure level in decibels averaged over the measurement surface as required in Clause 6.

2.3 Niveau de puissance acoustique, L_w

Valeur exprimée en décibels, égale à dix fois le logarithme de base 10 du rapport entre une puissance acoustique donnée et la puissance acoustique de référence.

Note. — Dans le cadre de la présente norme, on utilise des niveaux de puissance acoustique, avec réseau de pondération A, L_{wA} = niveau pondéré A de puissance acoustique. La puissance acoustique de référence est de 1 pW (10^{-12} W).

2.4 Surface principale de rayonnement

Surface fictive entourant le transformateur ou le dispositif de refroidissement, à partir de laquelle on suppose que le bruit est rayonné.

Note. — La méthode de détermination de la surface principale de rayonnement d'un appareil particulier est indiquée au paragraphe 5.2.

2.5 Contour prescrit

Ligne horizontale, éloignée d'une distance spécifiée de la surface principale de rayonnement, le long de laquelle sont réparties les positions de mesure.

Note. — La méthode de détermination du contour prescrit d'un appareil particulier est indiquée au paragraphe 5.2.

2.6 Surface de mesure

Surface fictive d'aire S qui enveloppe la source et sur laquelle sont réparties les positions de mesure.

Note. — Les méthodes de détermination de cette aire sont indiquées au paragraphe 6.2.

2.7 Distance de mesure

Distance séparant la surface principale de rayonnement de la surface de mesure.

2.8 Bruit de fond

Niveau pondéré A de pression acoustique à chaque position du microphone dans les conditions indiquées au paragraphe 5.1, l'objet en essai étant hors tension.

3. Appareils de mesure

Les mesures doivent être faites en utilisant un sonomètre de classe 1 conforme à la Publication 651 de la CEI.

Un contrôle acoustique de l'équipement de mesure doit être effectué avec une source sonore étalon immédiatement avant et après la série des mesures.

Les appareils de mesure doivent être étalonnés conformément à la Norme ISO 3746.

4. Conditions de mesure

4.1 Critères d'aptitude de l'environnement d'essai

Un environnement d'essai idéal doit être exempt d'objets réfléchissants autres que le sol, de telle sorte que l'appareil en essai rayonne dans un champ libre au-dessus d'un plan réfléchissant. Les environnements d'essai qui conviennent pour effectuer des mesurages suivant cette norme sont ceux qui satisfont aux méthodes de qualification données dans l'annexe A.

2.3 Sound power level, L_W

The value in decibels equal to ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of a given sound power to the reference sound power.

Note. — For the purposes of this standard, A-weighted values of L_W are used, i.e. L_{WA} = A-weighted sound power level, and the reference sound power is 1 pW (10^{-12} W).

2.4 Principal radiating surface

A hypothetical surface surrounding the transformer or cooling equipment which is assumed to be the surface from which sound is radiated.

Note. — The method of determining the principal radiating surface for particular equipment is given in Sub-clause 5.2.

2.5 Prescribed contour

A horizontal line, spaced at a definite distance from the principal radiating surface, along which the measuring positions are located.

Note. — The method for determining the prescribed contour for particular equipment is given in Sub-clause 5.2.

2.6 Measurement surface

A hypothetical surface of area S which envelops the source and on which the measuring positions are located.

Note. — The methods for the determination of this area are given in Sub-clause 6.2.

2.7 Measurement distance

The distance between the principal radiating surface and the measurement surface.

2.8 Background noise

The A-weighted sound pressure level at each measuring position with conditions as given in Sub-clause 5.1, the test object being inoperative.

3. Instruments

Measurements shall be made using a Type 1 sound level meter complying with IEC Publication 651.

An acoustic check of the measuring equipment using a calibrated noise source shall be made immediately before and after the measurement sequence.

The instruments shall be calibrated in accordance with ISO Standard 3746.

4. Conditions for measurement

4.1 Criteria for adequacy of the test environment

Ideally, the test environment should be free from reflecting objects other than a reflecting floor so that the equipment under test radiates into a free field over a reflecting plane. Test environments that are suitable for measurements according to this standard are those which meet the qualification procedures of Appendix A.

4.2 Conditions de fonctionnement de l'appareil pendant la mesure

Pour les mesures effectuées sur le transformateur avec ou sans ses organes de refroidissement, le transformateur doit être sous tension, à vide, à la tension assignée et à la fréquence assignée en utilisant une source de tension sinusoïdale ou pratiquement sinusoïdale, le changeur de prises (s'il y a lieu) étant sur la prise principale. La tension doit être mesurée conformément au paragraphe 8.5 de la Publication 76-1 de la CEI.

Si le transformateur est muni d'un changeur de prises en charge à bobine d'inductance de passage dont la bobine d'inductance peut, pour certaines positions de réglage, être excitée en permanence, les mesures doivent être faites en utilisant une prise qui implique cette condition et qui soit le plus près possible de la prise principale. La tension d'alimentation doit être appropriée à la prise utilisée.

Notes 1. — Pour des conditions spéciales d'utilisation intentionnelle du transformateur (en particulier pour un réglage à flux variable), il est acceptable de mesurer les niveaux de bruit sur une prise autre que la prise principale (ou avec une tension d'alimentation autre que la tension assignée sur un enroulement sans prise). Ceci doit alors être clairement indiqué dans le procès-verbal d'essais.

2. — Si la tension d'alimentation est appliquée brutalement au transformateur soumis à l'essai, il est recommandé de n'effectuer les mesures de bruit, sur les gros transformateurs, que quelques minutes après leur mise sous tension.

4.3 Grandeurs à mesurer

Les niveaux pondérés A de pression acoustique doivent être mesurés pour le transformateur ainsi que pour les sources de bruit de fond. Afin d'éviter les erreurs dues aux influences perturbatrices, on utilisera la réponse rapide du sonomètre.

5. Mesure des niveaux de pression acoustique

5.1 Mesure du bruit de fond

Le niveau pondéré A de pression acoustique du bruit de fond doit être mesuré immédiatement avant et après avoir effectué la mesure sur le transformateur.

Si le niveau de pression acoustique du bruit de fond est très nettement inférieur au niveau résultant à la fois du bruit de fond et du bruit du transformateur (différence supérieure ou égale à 10 dB), il est possible de n'effectuer les mesures du bruit de fond qu'en une seule position de mesure et aucune correction du niveau de bruit mesuré de l'appareil n'est nécessaire.

Si le niveau acoustique du bruit de fond est tel que la différence en dB, entre le niveau moyen de pression acoustique résultant à la fois du bruit du transformateur additionné du bruit de fond et le niveau moyen de pression acoustique du bruit de fond seul, est inférieure à 10 dB, mais au moins égale à 3 dB, il convient d'appliquer les corrections indiquées dans le tableau 1 du paragraphe 5.3. En pareil cas, le niveau du bruit de fond doit être déterminé en chacune des positions de mesure.

Note 1. — Lorsque le nombre total des positions de mesure est supérieur à 10, il est également permis de n'effectuer la mesure du niveau de pression acoustique du bruit de fond qu'en 10 positions réparties à des intervalles égaux autour du transformateur.

Si la différence est inférieure à 3 dB, l'essai ne sera pas accepté, à moins que le niveau résultant du bruit de fond et du bruit du transformateur ne soit inférieur à la valeur garantie. En pareil cas, on prendra pour cette différence une valeur inférieure, et le niveau total diminué de 3 dB pourra être considéré comme la limite supérieure du niveau de pression acoustique en cette position. Cette condition devra figurer au procès-verbal de l'essai.

Note 2. — Bien que l'on admette, conformément à la présente norme, une faible différence entre le niveau de bruit de fond et celui résultant à la fois de l'appareil et du bruit de fond, on s'efforcera d'obtenir une différence au moins égale à 6 dB.

4.2 *Operating conditions of equipment during measurement*

For measurements made on the transformer with or without its auxiliary cooling plant, the transformer shall be on no-load and excited at rated voltage of sinusoidal or practically sinusoidal waveform and rated frequency with the tap-changer (if any) on the principal tapping. The voltage shall be measured in accordance with Sub-clause 8.5 of IEC Publication 76-1.

If the transformer is fitted with reactor-type on-load tap-changer equipment and the reactor may, on certain tap-change positions, be permanently energized, the measurements shall be made with the transformer on a tapping which involves this condition and as near as possible to the principal tapping. The excitation voltage shall be appropriate to the tapping in use.

- Notes 1.* — Under special conditions of intended application of the transformer (particularly under variable flux voltage variation) it may be agreed to measure the sound levels on a tapping other than the principal tapping (or with a voltage other than the rated voltage on an untapped winding). This should then be clearly indicated in the test report.
2. — If the supply is suddenly applied to the unit under test, it is advisable to delay noise measurements on large transformers for some minutes after the instant of switching.

4.3 *Quantities to be measured*

The A-weighted sound pressure levels shall be measured for the transformer and the background noise sources. To avoid measurement errors due to disturbing influences, the fast response indication of the meter shall be used.

5. **Measurement of sound pressure levels**

5.1 *Background noise measurement*

The A-weighted sound pressure level of the background noise shall be measured immediately before and after the measurement on the transformer.

If the background sound pressure level is clearly much lower than the combined level of the background and transformer (difference not less than 10 dB), measurements of background noise may be made at only one of the measuring positions and no correction of the measured sound level of the equipment is necessary.

If the background sound pressure level is such that the difference in dB, between the combined sound pressure level of the transformer plus the background and the background sound pressure level alone, is less than 10 dB but not less than 3 dB, the corrections shown in Sub-clause 5.3, Table I shall be applied. In such cases, the background level shall be determined at every measuring position.

Note 1. — When the total number of measuring positions exceeds 10, it is permissible to measure the background sound pressure level at only 10 positions equally distributed around the transformer.

If the difference is less than 3 dB, the test will not be valid unless the combined level of the background and transformer noise is less than the guaranteed value. In such a case, the lower value for this difference will be taken and the combined level minus 3 dB may be regarded as the upper value of the sound pressure level of this position. This condition shall be recorded in the test report.

Note 2. — While the present standard permits a small difference between the background noise level and that resulting from the combination of the equipment and background noise, every effort should be made to obtain a difference of at least 6 dB.

La ou les hauteurs du ou des microphones pendant les mesures du bruit de fond doivent être les mêmes que pour les mesures du bruit du transformateur et les mesures du bruit de fond doivent être faites en des points du ou des contours prescrits.

5.2 *Mesure du niveau de pression acoustique du transformateur*

Les méthodes exposées ci-après recouvrent les différents modes de refroidissement employés, selon que les dispositifs de refroidissement sont éloignés de plus ou moins de 3 m de la surface principale de rayonnement de la cuve principale. Elles permettent également de calculer le niveau de puissance acoustique de l'appareil complet.

Bien que le texte des paragraphes 5.2.2 et 5.2.3 traite des appareils à refroidissement par air, les mêmes principes indiqués ci-dessous s'appliquent aux mesurages effectués sur les transformateurs avec refroidissement par eau.

Notes 1. — Dans le cas de certains appareils, il peut être nécessaire d'appliquer des spécifications d'essai différentes de celles qui sont indiquées ci-après (hauteur du contour prescrit et sa distance par rapport à l'objet en essai).

Ces spécifications d'essai doivent être conformes aux normes appropriées, s'il en existe; sinon, elles doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Dans le cas des transformateurs munis de traversées haute tension horizontales, le contour utilisé doit être déterminé par des considérations de sécurité. Il suffit, pour obtenir ce résultat, de limiter le contour à la zone de sécurité (voir paragraphe 6.2, e)).

2. — En cas d'utilisation d'un appareil de mesure à mémoire muni d'un dispositif moyenneur et, lorsque les délais de mesure et d'enregistrement sont plus courts, il est possible de déplacer le microphone sans interruption et à vitesse constante sur le contour prescrit autour du transformateur et (ou) du dispositif de refroidissement pour déterminer la moyenne énergétique du niveau de pression acoustique. Le nombre des mesures enregistrées doit être au moins égal au nombre des positions de mesure.
3. — Dans les figures montrant les positions typiques du microphone, les distances entre positions de mesure sont indiquées par *D*.

5.2.1 *Transformateurs sans refroidissement à air forcé, ou pourvus d'un refroidissement à air forcé monté sur un châssis éloigné d'au moins 3 m de la surface principale de rayonnement de la cuve principale. Transformateurs secs placés dans des enveloppes et transformateurs secs pourvus d'un refroidissement à air forcé situé à l'intérieur des enveloppes*

Les mesures sur le transformateur seul seront effectuées conformément au présent paragraphe 5.2.1; celles qui sont relatives au refroidissement à air forcé seront effectuées conformément au paragraphe 5.2.3 ci-dessous.

La surface principale de rayonnement est la surface engendrée par la translation verticale, depuis le haut du couvercle de la cuve du transformateur (en excluant traversées, piètements et autres accessoires situés au-dessus du couvercle de la cuve) jusqu'à la base de la cuve, du contour décrit par une ficelle entourant le transformateur (voir figure 1, page 28). La surface principale de rayonnement doit comprendre le dispositif de refroidissement monté sur la cuve, les renforts de la cuve et les auxiliaires tels que boîtes à câbles, changeurs de prises, etc., et elle doit exclure les refroidisseurs à air forcé. Les traversées, les tuyauteries d'huile, les conservateurs d'huile, le soubassement de la cuve, les vannes et autres accessoires secondaires doivent également en être exclus.

Le contour prescrit doit être éloigné de 0,3 m de la surface principale de rayonnement définie ci-dessus.

Pour les transformateurs dont la hauteur de cuve est inférieure à 2,5 m, le contour prescrit sera situé sur le plan horizontal passant à mi-hauteur de la cuve.

Pour les transformateurs dont la hauteur de cuve est supérieure ou égale à 2,5 m, il convient d'utiliser deux contours prescrits situés dans les plans horizontaux passant au tiers et aux deux tiers de la hauteur de la cuve.

The height(s) of the microphone(s) during the background noise measurements shall be the same as for the measurements of the noise of the transformer and the background measurements shall be taken at points on the prescribed contour(s).

5.2 Sound pressure level measurements for the transformer

The following measurement methods cover the different types of cooling employed, depending on whether the coolers are less than or more than 3 m away from the principal radiating surface of the main tank. They also permit the sound power level of the complete equipment to be calculated.

While the text of Sub-clauses 5.2.2 and 5.2.3 refers only to air cooling, the same principles as set out therein apply to measurements on transformers equipped with water coolers.

Notes 1. — In the case of certain equipment, it may be necessary to apply test specifications (height of the prescribed contour and its distance to the object to be tested) different from those indicated hereafter.

These test specifications should be according to the relevant standards if any, or be subject to agreement between manufacturer and purchaser.

In the case of transformers with horizontal high-voltage bushings, the contour used has to be determined by safety considerations. This may be achieved by confining the contour to the safe zone. (See Sub-clause 6.2, e).)

2. — With the use of storage type measuring equipment with an averaging device and thereby shorter measuring and recording times, the microphone can be moved with constant speed on the prescribed contour around the transformer and/or cooling equipment for determining the energy average of the sound pressure level. The number of recorded readings shall be not less than the number of measuring positions specified herein.

3. — In the figures showing typical microphone positions the spacing between measuring positions is indicated by *D*.

5.2.1 Transformers having no forced air cooling auxiliaries or with forced air cooling auxiliaries mounted on a separate structure spaced not less than 3 m away from the principal radiating surface of the main tank. Dry-type transformers in enclosures and dry-type transformers with forced air coolers inside the enclosure

Measurements on the transformer only are to be made in accordance with this Sub-clause 5.2.1; those on any forced air cooling auxiliaries are to be made in accordance with Sub-clause 5.2.3 below.

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection, from the top of the transformer tank cover (excluding bushings, turrets and other accessories situated above the tank cover) to the base of the tank, of a string contour encircling the transformer. (See Figure 1, page 28.) The principal radiating surface shall include cooling equipment attached to the tank, tank stiffeners and such auxiliary equipment as cable boxes, tap-changer, etc., and exclude any forced air cooling auxiliaries. Projections such as bushings, oil pipework, oil conservators, tank underbase, valves and other secondary elements shall also be excluded.

The prescribed contour shall be spaced 0.3 m away from the principal radiating surface as defined above.

For transformers with a tank height less than 2.5 m, the prescribed contour shall be on a horizontal plane at half the tank height.

For transformers with a tank height equal to or greater than 2.5 m, two prescribed contours shall be used which are on horizontal planes at one-third and two-thirds of the tank height.

En raison de la distance entre le contour prescrit et les refroidisseurs à air forcé, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la proximité de ces derniers dans le choix des positions de mesure. Les pompes de circulation d'huile et les ventilateurs doivent être mis hors service pendant les mesures sur le transformateur.

Les positions de mesure seront approximativement équidistantes, avec des intervalles au plus égaux à 1 m; leur nombre ne sera pas inférieur à 6 (voir figure 1, page 28).

5.2.2 Transformateurs munis de refroidisseurs à air forcé ou de dispositifs de refroidissement à eau montés soit directement sur la cuve, soit sur un châssis séparé éloigné de moins de 3 m de la surface principale de rayonnement de la cuve principale (voir la note ci-dessous)

Deux séries de mesures seront effectuées, toutes les deux avec le transformateur excité:

- 1) avec les ventilateurs et les pompes de circulation d'huile hors service, et
- 2) avec les ventilateurs et les pompes de circulation d'huile en service.

La surface principale de rayonnement est la surface engendrée par la translation verticale, depuis le haut du couvercle de la cuve du transformateur (en excluant traversées, piétements et autres accessoires situés au-dessus du couvercle de la cuve) jusqu'à la base de la cuve, d'un contour décrit par une ficelle entourant le transformateur (voir figure 1). La surface principale de rayonnement doit inclure les refroidisseurs à air forcé, les renforts de la cuve et les auxiliaires tels que boîtes à câbles, changeur de prise, etc.

Il y a lieu d'exclure les traversées, les tuyauteries d'huile, les conservateurs d'huile, les soubassements de la cuve ou du dispositif de refroidissement, les vannes, les armoires de commande et autres accessoires secondaires.

Dans le cas des mesures 1), le contour prescrit sera éloigné de 0,3 m de la surface principale de rayonnement. Dans le cas des mesures 2), le contour prescrit sera éloigné de 2 m de la surface principale de rayonnement. (Voir la distance X dans les figures 2 et 3, pages 29 et 30).

Pour les transformateurs dont la hauteur de cuve est inférieure à 2,5 m, le contour prescrit sera situé dans le plan horizontal passant à mi-hauteur de la cuve.

Pour les transformateurs dont la hauteur de cuve est supérieure ou égale à 2,5 m, il convient d'utiliser deux contours prescrits situés dans les plans horizontaux passant au tiers et aux deux tiers de la hauteur de la cuve.

Les positions de mesure doivent être approximativement équidistantes, avec des intervalles au plus égaux à 1 m; leur nombre ne sera pas inférieur à 10 (voir la figure 2 pour les transformateurs munis de refroidisseurs à air forcé montés sur la cuve et la figure 3 pour les transformateurs dont les refroidisseurs à air forcé sont montés sur un châssis séparé).

Note. — Lorsque le transformateur est conçu intentionnellement pour être placé dans une enveloppe et que le refroidisseur, extérieur à l'enveloppe, est éloigné de moins de 3 m du transformateur, il convient de suivre la procédure indiquée aux paragraphes 5.2.1 et 5.2.3.

5.2.3 Batteries de refroidisseurs à air forcé ou dispositifs de refroidissement à eau montés sur un châssis séparé éloigné d'au moins 3 m de la surface principale de rayonnement du transformateur

Ces mesures sont à ajouter à celles qui sont effectuées sur l'appareil principal. Elles doivent être effectuées avec le transformateur hors tension et tous les refroidisseurs à air forcé et les pompes de circulation d'huile en service. Les mesures doivent être considérées comme des renseignements complémentaires, sauf spécification différente, puisqu'il n'est pas de pratique courante de monter la batterie de refroidissement séparée dans les ateliers du constructeur en dehors du cas où l'on effectue un essai d'échauffement de l'appareil principal.

Because of the distance between the prescribed contour and the forced air cooling auxiliaries, no account need be taken of the proximity of such auxiliaries when arranging the measuring positions. Any oil circulating pumps and forced air cooling equipment shall be out of service during the measurements on the transformer.

The measuring positions shall be approximately equally spaced and not more than 1 m apart with a minimum number of six (see Figure 1, page 28).

5.2.2 Transformers having forced air cooling auxiliaries or water cooling equipment mounted either directly on the tank or on a separate structure spaced less than 3 m away from the principal radiating surface of the main tank (see note below)

Two sets of measurements shall be made, both with the transformer energized:

- 1) with the forced air cooling equipment and any oil circulating pumps out of service; and
- 2) with the forced air cooling equipment and any oil circulating pumps in service.

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection from the top of the transformer tank cover (excluding bushings, turrets and other accessories situated above the tank cover, see Figure 1) to the base of the tank, of a string contour encircling the apparatus. The principal radiating surface shall include the forced air cooling auxiliaries, tank stiffeners and such auxiliary equipment as cable boxes, tap-changer, etc.

Projections such as bushings, oil pipework, oil conservators, tank or cooler underbases, valves, control cubicles and other secondary elements shall be excluded.

For the purpose of measurements 1), the prescribed contour shall be spaced 0.3 m away from the principal radiating surface. For the purpose of measurements 2), the prescribed contour shall be spaced 2 m away from the principal radiating surface. (See distance *X* in Figures 2 and 3, pages 29 and 30).

For transformers with a tank height less than 2.5 m the prescribed contour shall be on a horizontal plane at half the tank height.

For transformers with a tank height equal to or greater than 2.5 m, two prescribed contours shall be used which are on horizontal planes at one-third and two-thirds of the tank height.

The measuring positions shall be approximately equally spaced and not more than 1 m apart, with a minimum number of 10 (see Figure 2, for transformers having forced air cooling auxiliaries mounted on the tank and Figure 3 for transformers having these auxiliaries mounted on a separate structure).

Note. — Where the transformer is designed and intended for enclosure and the cooler, external to the enclosure, is spaced less than 3 m away from the transformer, then the procedure given in Sub-clauses 5.2.1 and 5.2.3 should be followed.

5.2.3 Forced air cooling auxiliaries or water cooling equipment mounted on a separate structure spaced not less than 3 m away from the principal radiating surface of the transformer

These measurements are in addition to those made on the main equipment. They shall be made with the transformer unenergized and with all forced air cooling equipment and oil circulating pumps in operation. These measurements shall be regarded as additional requirements, unless otherwise specified, since it is often not the practice to erect separate cooling equipment at the manufacturer's works except when temperature-rise tests are being made on the main equipment.

La surface principale de rayonnement est la surface engendrée par la translation verticale depuis le haut de la batterie de refroidissement jusqu'à la base de la partie active (voir figure 4, page 31), d'un contour décrit par une ficelle entourant l'appareil, mais excluant les conservateurs d'huile, les châssis, les tuyauteries, les vannes et autres accessoires secondaires.

Le contour prescrit sera éloigné de 2 m de la surface principale de rayonnement telle qu'elle est définie ci-dessus.

Pour les batteries de refroidissement dont la hauteur hors tout est inférieure à 4 m (à l'exclusion des conservateurs d'huile, des tuyauteries, etc.) le contour prescrit sera situé dans le plan horizontal à mi-hauteur. Pour les batteries de refroidissement dont la hauteur hors tout (à l'exclusion des conservateurs d'huile, des tuyauteries, etc.) est supérieure ou égale à 4 m, il convient d'utiliser deux contours prescrits situés dans les plans horizontaux passant par le tiers et les deux tiers de la hauteur.

Les positions de mesure seront approximativement équidistantes, avec des intervalles au plus égaux à 1 m; leur nombre ne sera pas inférieur à 10 (voir figure 5, page 32).

5.2.4 Transformateurs secs sans enveloppe

La surface principale de rayonnement est la surface engendrée par la translation verticale, depuis le haut du transformateur jusqu'à la base de la partie active (voir figure 6, page 33) d'un contour décrit par une ficelle entourant le transformateur sec, mais excluant les châssis, le câblage et le couplage externes, ainsi que les appareils associés n'exerçant pas d'influence sur le rayonnement acoustique.

Le contour prescrit sera éloigné de 0,3 m de la surface principale de rayonnement telle qu'elle est définie ci-dessus, à moins qu'un éloignement de 1 m ne soit adopté pour des raisons de sécurité. Les positions de mesure seront équidistantes, avec des intervalles au plus égaux à 1 m; leur nombre ne sera pas inférieur à 6 (voir figure 6).

5.3 Corrections pour le bruit de fond

Les niveaux de pression acoustique enregistrés en chacune des positions de mesure conformément au paragraphe 5.2 seront corrigés de l'influence du bruit de fond selon le tableau I.

Le bruit de fond est mesuré conformément au paragraphe 5.1.

TABLEAU I

Correction pour influence du bruit de fond

Différence entre le niveau de pression acoustique mesuré avec l'appareil en service et le niveau de pression acoustique du bruit de fond seul	Correction à soustraire du niveau de pression acoustique mesuré avec l'appareil en service pour obtenir le niveau de pression acoustique dû à l'appareil
dB	dB
3	3
4-5	2
6-8	1
9-10	0,5

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection from the top of the cooler structure to the base of the active parts (see Figure 4, page 31) of a string contour encircling the apparatus but excluding oil conservators, framework, pipework, valves and other secondary elements.

The prescribed contour shall be spaced 2 m away from the principal radiating surface as defined above.

For cooler structures with an overall height less than 4 m (excluding oil conservators, pipework, etc.), the prescribed contour shall be on a horizontal plane at half the height. For cooler structures with an overall height (excluding oil conservators, pipework, etc.) equal to or greater than 4 m, two prescribed contours shall be used which are on horizontal planes at one-third and two-thirds of the height.

The measuring positions shall be approximately equally spaced and not more than 1 m apart, with a minimum number of 10 (see Figure 5, page 32).

5.2.4 *Dry-type transformers without enclosures*

The principal radiating surface is the surface obtained by the vertical projection from the top of the transformer structure to the base of the active parts (see Figure 6, page 33) of a string contour encircling the dry-type transformer excluding framework, external wiring and connections and attached apparatus not affecting the sound radiation.

The prescribed contour shall be spaced 0.3 m away from the principal radiating surface as defined above unless for safety reasons 1 m is chosen. The measuring positions shall be approximately equally spaced and not more than 1 m apart with a minimum number of six (see Figure 6).

5.3 *Corrections for background noise*

The sound pressure levels recorded at each of the measuring positions according to Sub-clause 5.2 shall be corrected for the influence of background noise according to Table I.

The background noise is measured according to Sub-clause 5.1.

TABLE I

Correction for influence of background noise

Difference between sound pressure level measured with the equipment operating and background sound pressure level alone	Correction to be subtracted from sound pressure level measured with the equipment operating to obtain sound pressure level due to the equipment
dB	dB
3	3
4-5	2
6-8	1
9-10	0.5

6. Calcul du niveau de pression acoustique surfacique et du niveau de puissance acoustique

6.1 Calcul du niveau de pression acoustique surfacique

Le niveau pondéré A de pression acoustique surfacique, $\overline{L}_{pA}$, sera calculé à partir des valeurs mesurées du niveau pondéré A de pression acoustique, L_{pAi} (après application, si nécessaire, des corrections indiquées dans le tableau I du paragraphe 5.3) en utilisant l'équation suivante:

$$\overline{L}_{pA} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pAi}} \right] - K \quad (1)$$

où:

$\overline{L}_{pA}$ = niveau pondéré A de pression acoustique surfacique, en décibels — Référence: 20 μ Pa

L_{pAi} = niveau pondéré A de pression acoustique à la position de mesure de rang i, en décibels, corrigé pour le bruit de fond conformément au tableau I — Référence: 20 μ Pa

N = nombre total des positions de mesure

K = correction d'environnement pour tenir compte de l'influence du son réfléchi, en décibels. La procédure de calcul est donnée dans l'annexe A

La correction d'environnement K varie en fait de 0 dB (pour les mesures effectuées en extérieur) à plus de 10 dB pour les mesures effectuées à l'intérieur dans des salles fortement réfléchissantes.

Dans le cadre de la présente norme, la valeur maximale autorisée pour la correction d'environnement K est de 7 dB.

Notes 1. — Pour obtenir le niveau pondéré A de pression acoustique surfacique $\overline{L}_{pA}$, il est également possible de corriger la moyenne énergétique des valeurs mesurées selon le paragraphe 5.2 en tenant compte de la moyenne énergétique du niveau du bruit de fond conformément au paragraphe 5.1. La correction visant à rendre compte de l'influence de l'environnement doit être apportée selon l'équation (1).

2. — Lorsque la dispersion des valeurs de L_{pAi} n'excède pas 5 dB, on peut utiliser une simple moyenne arithmétique. Cette moyenne ne différera pas de plus de 0,7 dB de la valeur calculée selon l'équation (1).

3. — En raison de la composition harmonique spécifique du bruit des transformateurs, il peut arriver que des ondes stationnaires constituent une influence supplémentaire de l'environnement sur les niveaux de pression acoustique mesurés (L_{pAi}). En pareil cas, l'application d'un facteur de correction unique n'est pas suffisante. C'est pourquoi, chaque fois que ce sera possible, les mesures devront être effectuées dans un périmètre où la correction pour «influence de l'environnement» n'est pas nécessaire.

6.2 Calcul de l'aire de la surface de mesure

a) Mesures sur le transformateur sous tension, refroidissement hors service, effectuées à 0,3 m de la surface principale de rayonnement selon les dispositions des paragraphes 5.2.1, 5.2.2 1) et 5.2.4.

L'aire S de la surface de mesure, exprimée en mètre carrés, est calculée par la formule:

$$S = 1,25 h l_m \quad (2)$$

où:

h = hauteur en mètres de la cuve du transformateur ou du circuit magnétique ajoutée à celle des châssis pour les transformateurs secs sans enceinte

l_m = longueur du contour prescrit en mètres

1,25 = facteur empirique destiné à tenir compte de l'énergie sonore rayonnée par la partie supérieure du transformateur ou des refroidisseurs

b) Mesures sur le transformateur sous tension, refroidissement à air forcé en service, effectuées à 2 m de la surface principale de rayonnement selon les indications du paragraphe 5.2.2 2).

L'aire S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est calculée par la formule:

$$S = (h + 2) l_m \quad (3)$$

où:

h = hauteur de la cuve du transformateur, en mètres

l_m = longueur du contour prescrit, en mètres

2 = distance de mesure, en mètres

6. Calculation of surface sound pressure level and sound power level

6.1 Calculation of surface sound pressure level

An A-weighted surface sound pressure level, $\overline{L_{pA}}$, shall be calculated from the measured values of the A-weighted sound pressure level, L_{pAi} (after corrections are applied according to Sub-clause 5.3, Table I, if necessary) by using the equation:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pAi}} \right] - K \quad (1)$$

where:

$\overline{L_{pA}}$ = A-weighted surface sound pressure level, in decibels—Reference: 20 μ Pa

L_{pAi} = A-weighted sound pressure level at the i^{th} measuring position corrected for the background noise according to Table I, in decibels—Reference: 20 μ Pa

N = Total number of measuring positions

K = Environmental correction to account for the influence of reflected sound, in decibels. The procedure for the calculation is given in Appendix A

The environmental correction K typically ranges from 0 dB (for measurements outdoors) to more than 10 dB for measurements indoors in highly reverberant rooms.

For the purposes of this standard, the maximum allowable value of the environmental correction K is 7 dB.

Notes 1. — To get the A-weighted surface sound pressure level $\overline{L_{pA}}$ it is also possible to correct the energy average of the measured values according to Sub-clause 5.2 with respect to the energy average of the background noise level according to Sub-clause 5.1. The correction for the environmental influence is made as shown in equation (1).

2. — When the range of values of L_{pAi} does not exceed 5 dB, a simple arithmetical average may be used. This average will not differ by more than 0.7 dB from the value calculated using equation (1).

3. — Due to the specific harmonic tone-content of transformer noise it is possible that standing waves may be an additional influence of the environment on measured sound pressure levels (L_{pAi}). In this case the application of a single correction factor does not suffice. Therefore the measurements should be performed, whenever possible, in surroundings where “environmental-influence” correction is not necessary.

6.2 Calculation of the area of the measurement surface

a) Measurements on transformers energized and forced air cooling auxiliaries unenergized, as indicated in Sub-clauses 5.2.1, 5.2.2 1) and 5.2.4 made at 0.3 m from the principal radiating surface.

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is calculated by the formula:

$$S = 1.25 h l_m \quad (2)$$

where:

h = height in metres of the transformer tank, or alternatively the height of the core and its framework in the case of dry-type transformers without enclosures

l_m = length of the prescribed contour in metres

1.25 = empirical factor intended to take account of the sound energy radiated by the upper part of the transformer or coolers

b) Measurements on transformers energized with forced air cooling auxiliaries also energized, as indicated in Sub-clause 5.2.2 2), made at 2 m from the principal radiating surface.

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is calculated by the formula:

$$S = (h + 2) l_m \quad (3)$$

where:

h = height of the transformer tank, in metres

l_m = length of the prescribed contour, in metres

2 = measurement distance, in metres

- c) Mesures sur des batteries de refroidissement à air forcé montées sur un châssis séparé, selon les indications du paragraphe 5.2.3, effectuées à 2 m de la surface principale de rayonnement.

L'aire S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est calculée par la formule:

$$S = (H + 2) l_m \quad (4)$$

où:

H = hauteur, en mètres, des dispositifs de refroidissement, ventilateurs compris (voir figure 4, page 31)

l_m = longueur du contour prescrit, en mètres

2 = distance de mesure, en mètres

- d) Mesures sur transformateurs secs sous tension, selon les dispositions du paragraphe 5.2.4, effectuées à 1 m de la surface principale de rayonnement.

L'aire S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est calculée par la formule:

$$S = (h + 1) l_m \quad (5)$$

où:

h = hauteur totale du noyau et des châssis, en mètres

l_m = longueur du contour prescrit, en mètres

1 = distance de mesure, en mètres

- e) Mesures sur des transformateurs pour lesquels les considérations d'éloignement de sécurité imposent une distance de mesure qui dépasse les dispositions prévues aux points a) à d) ci-dessus pour tout ou partie du contour prescrit.

L'aire S de la surface de mesure, exprimée en mètres carrés, est calculée par la formule:

$$S = \frac{3}{4\pi} l_m^2 \quad (6)$$

où:

l_m = longueur du contour prescrit, en mètres, tel qu'elle est imposée par l'éloignement de sécurité

6.3 Calcul du niveau de la puissance acoustique

Le niveau pondéré A de puissance acoustique de l'appareil, L_{WA} , doit être calculé à partir de l'équation:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0} \quad (7)$$

où:

L_{WA} = niveau pondéré A de puissance acoustique en décibels, avec référence de 10^{-12} W

S = aire de la surface de mesure, en mètres carrés — Référence: $S_0 = 1 \text{ m}^2$

Pour les transformateurs munis d'un refroidissement à air forcé montés directement sur la cuve (voir paragraphe 5.2.2), le niveau de puissance acoustique du dispositif de refroidissement L_{WA0} , en décibels, est égal à:

$$L_{WA0} = 10 \log_{10} (10^{0,1 L_{WA1}} - 10^{0,1 L_{WA2}}) \quad (8)$$

où:

L_{WA1} = somme des niveaux de puissance acoustique du transformateur et du dispositif de refroidissement, en décibels (voir paragraphe 5.2.2)

L_{WA2} = niveau de puissance acoustique du transformateur, en décibels (voir paragraphe 5.2.1)

Note. — Si l'on connaît le niveau de puissance acoustique des différents ventilateurs et pompes d'un dispositif de refroidissement conformément au paragraphe 5.2.3, le niveau total de puissance acoustique du dispositif de refroidissement peut être obtenu par addition de toutes ces valeurs distinctes sur une base énergétique (analogues à l'équation (1)). Cette méthode de détermination du niveau de puissance acoustique du dispositif de refroidissement doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

- c) Measurements on forced air cooling auxiliaries mounted separately from the transformer, as indicated in Sub-clause 5.2.3, made at 2 m from the principal radiating surface.

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is calculated by the formula:

$$S = (H + 2) l_m \quad (4)$$

where:

H = height of the cooling equipment, including fans, in metres (see Fig. 4, page 31)

l_m = length of the prescribed contour, in metres

2 = measurement distance, in metres

- d) Measurements on dry-type transformers energized as indicated in Sub-clause 5.2.4, made at 1 m from the principal radiating surface.

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is calculated by the formula:

$$S = (h + 1) l_m \quad (5)$$

where:

h = height of core with framework, in metres

l_m = length of the prescribed contour, in metres

1 = measurement distance, in metres

- e) Measurements on transformers where safety clearance considerations require a measurement distance which for all or part of the prescribed contour exceeds the provisions of Items a) to d) above.

The area S of the measurement surface, expressed in square metres, is calculated by the formula:

$$S = \frac{3}{4\pi} l_m^2 \quad (6)$$

where:

l_m = length of the prescribed contour, in metres, as dictated by safety clearances

6.3 Calculation of sound power level

The A-weighted sound power level of the equipment L_{WA} shall be calculated from the equation:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0} \quad (7)$$

where:

L_{WA} = A-weighted sound power level, in decibels—Reference: 10^{-12} W

S = area of the measurement surface, in square metres—Reference: $S_0 = 1 \text{ m}^2$

For transformers with forced air cooling equipment mounted directly on the tank (see Sub-clause 5.2.2), the sound power level of the cooling equipment L_{WA0} in decibels is:

$$L_{WA0} = 10 \log_{10} (10^{0.1 L_{WA1}} - 10^{0.1 L_{WA2}}) \quad (8)$$

where:

L_{WA1} = sound power level of the transformer + cooling equipment in decibels (see Sub-clause 5.2.2)

L_{WA2} = sound power level of the transformer in decibels (see Sub-clause 5.2.1)

Note. — If the sound power levels of the individual fans and pumps of a cooling equipment according to Sub-clause 5.2.3 are known, the total sound power of the cooling equipment can be obtained by adding together the individual values on an energy basis (analogous to equation (1)). This method of determining the sound power level of cooling equipment is subject to agreement between manufacturer and purchaser.

Pour des transformateurs munis d'un refroidissement à air forcé montés directement sur un châssis séparé (voir le paragraphe 5.2.3), on calcule le niveau de puissance acoustique résultant à la fois du transformateur et du dispositif de refroidissement L_{WA1} , en décibels, en utilisant l'équation:

$$L_{WA1} = 10 \log_{10} (10^{0,1 L_{WA2}} + 10^{0,1 L_{WA0}}) \quad (9)$$

où:

L_{WA2} = niveau de puissance acoustique du transformateur, en décibels (voir le paragraphe 5.2.1)

L_{WA0} = niveau de puissance acoustique du refroidissement, en décibels (voir le paragraphe 5.2.3)

Note. — Pour calculer approximativement le niveau pondéré A de pression acoustique L_{PAR} , en décibels, à une distance R en mètres ($R >$ environ 30 m) du centre géométrique de l'appareil, il convient d'utiliser l'équation suivante:

$$L_{PAR} = L_{WA} - 10 \log_{10} \frac{S_h}{S_0} \quad (10)$$

où:

L_{WA} = niveau pondéré A de puissance acoustique en décibels

$S_h = 2\pi R^2$ = aire de la surface d'une hémisphère de rayon R , en mètres carrés — Référence: $S_0 = 1 \text{ m}^2$

7. Présentation des résultats

Le rapport doit comporter celles des informations suivantes qui s'appliquent au matériel dont le niveau de puissance acoustique a été mesuré.

- a) Référence à la présente norme de mesure.
- b) Une description du transformateur indiquant la puissance, la tension et le rapport de transformation assignés, le couplage, etc.
- c) Le nom et l'adresse du constructeur; le lieu de construction.
- d) Les caractéristiques de l'appareil de mesure acoustique et la vérification de son étalonnage. Ces informations doivent comprendre les numéros de série de l'appareil de mesure, des microphones et de la source d'étalonnage.
- e) Un croquis coté illustrant l'emplacement du transformateur par rapport aux autres objets dans l'aire de mesure, ainsi que les positions de mesure.
- f) Les niveaux pondérés A de pression acoustique en chaque position de mesure dans les conditions de fonctionnement suivantes, avec le transformateur entièrement équipé:
 - 1) transformateur sous tension, auxiliaires hors service;
 - 2) transformateur sous tension, auxiliaires en service;
 - 3) transformateur hors tension, auxiliaires en service.
- g) Les niveaux pondérés A de pression acoustique du bruit de fond en chaque position de mesure.
- h) Les niveaux pondérés A de pression acoustique en chaque position de mesure après correction pour le bruit de fond.
- i) La correction d'environnement K calculée conformément à l'annexe A.
- j) Le niveau pondéré A de pression acoustique surfacique $\overline{L}_{pA}$ dans les conditions de fonctionnement applicables 1), 2) et 3) du paragraphe 7 f).
- k) L'aire S de la surface de mesure correspondant aux mesures effectuées à 0,3 m de la surface principale de rayonnement.
- l) L'aire S de la surface de mesure correspondant aux mesures effectuées à 2 m de la surface principale de rayonnement.
- m) L'aire S de la surface de mesure correspondant aux mesures effectuées à 1 m de la surface principale de rayonnement (voir paragraphe 5.2.4).
- n) Le ou les niveaux pondérés A de puissance acoustique dans les conditions de fonctionnement applicables 1), 2) et 3) du paragraphe 7 f). Les valeurs doivent être arrondies au décibel entier le plus proche.

Note. — Un exemple de présentation des résultats est donné aux pages 24 et 25.

For transformers with forced air cooling equipment mounted on a separate structure (see Sub-clause 5.2.3) the sound power level of the transformer plus cooling equipment L_{WA1} in decibels is calculated by using the equation:

$$L_{WA1} = 10 \log_{10} (10^{0.1 L_{WA2}} + 10^{0.1 L_{WA0}}) \quad (9)$$

where:

L_{WA2} = the sound power level of the transformer, in decibels (see Sub-clause 5.2.1)

L_{WA0} = the sound power level of the cooling equipment, in decibels (see Sub-clause 5.2.3)

Note. — For approximate calculation of the A-weighted sound pressure level L_{pAR} in decibels at a distance R in metres ($R > \text{about } 30 \text{ m}$) from the geometrical centre of the equipment, the following equation is used:

$$L_{pAR} = L_{WA} - 10 \log_{10} \frac{S_h}{S_0} \quad (10)$$

where:

L_{WA} = A-weighted sound power level in decibels

$S_h = 2\pi R^2$ = area of the surface of a hemisphere of radius R , in square metres—Reference: $S_0 = 1 \text{ m}^2$

7. Presentation of results

The report shall include such of the following information as is applicable to the equipment of which the sound level has been measured:

- a) Reference to this measurement standard.
- b) A description of the transformer giving rated power, voltage and voltage ratio, connections, etc.
- c) The name of the transformer maker and the place of manufacture.
- d) The characteristics of the sound measuring equipment and method of verification of its calibration. This information shall include the serial numbers of the instrument, of the microphones and of the calibration source.
- e) A dimensioned sketch showing the position of the transformer with respect to other objects in the measurement area and the measuring positions.
- f) The A-weighted sound pressure levels for each measuring position for the following operating conditions, with the transformer fully equipped:
 - 1) transformer energized, its auxiliaries unenergized;
 - 2) transformer energized, its auxiliaries energized;
 - 3) transformer unenergized, its auxiliaries energized.
- g) The A-weighted sound pressure levels of the background noise for each measuring position.
- h) The A-weighted sound pressure levels for each measuring position corrected for background noise level.
- i) The environmental correction K calculated according to Appendix A.
- j) The A-weighted surface sound pressure level $\overline{L_{pA}}$ for operating conditions 1), 2) and 3) of Sub-clause 7 f) as applicable.
- k) The area S of the measurement surface for measurements at 0.3 m away from the principal radiating surface.
- l) The area S of the measurement surface for measurements at 2 m away from the principal radiating surface.
- m) The area S of the measurement surface for measurements at 1 m away from the principal radiating surface (see Sub-clause 5.2.4).
- n) The A-weighted sound power level(s) for operating conditions 1), 2) and 3) of Sub-clause 7 f), as applicable. The value(s) shall be rounded to the nearest whole decibel.

Note. — A typical form for the presentation of results is given on pages 26 and 27.

RAPPORT DE MESURE DU NIVEAU DE BRUIT

Numéro et lieu d'établissement du contrat

Constructeur Lieu de la mesure Date de la mesure

Adresse du constructeur Spécification de la mesure

Caractéristiques du transformateur:

N° de série MVA Rapport de transformation Couplages

Etendue des prises

Caractéristiques de l'appareil de mesure:

Marque Type N° de série

Type de microphone N° de série du microphone

Etalonnage de l'appareil de mesure et du microphone

Conditions d'essai:

Tension d'alimentation Fréquence Hz N° de prise

Niveaux pondérés A de pression acoustique $\overline{L}_{pA}$

Transf./bobine d'induct. sans ses refroidisseurs
Transf./bobine d'induct. avec ses refroidisseurs
Refroidisseurs sans le transf./bobine d'induct.
Transf. sec sans enceinte
Transf. sec avec enceinte

Biffer les mentions inutiles

Position du plan	1	dB	2	3	Position du plan	1	dB	2	3	Position du plan	1	dB	2	3	Position du plan	1	dB	2	3
1					13					25					37				
2					14					26					38				
3					15					27					39				
4					16					28					40				
5					17					29					41				
6					18					30					42				
7					19					31					43				
8					20					32					44				
9					21					33					45				
10					22					34					46				
11					23					35					47				
12					24					36					48				
moyenne arithmétique/énergétique																			

1 = bruit de l'appareil; 2 = bruit de fond; 3 = bruit de l'appareil après correction

Correction d'environnement K

$\overline{L}_{pA}$

Aire de surface équivalente:

- a) pour les mesures à 0,3 m de la surface principale de rayonnement m²
b) pour les mesures à 2 m de la surface principale de rayonnement m²
c) pour les mesures à 1 m de la surface principale de rayonnement m²

$10 \log_{10} \frac{S}{S_0}$

Pour le texte anglais, voir page 26.

L_{WA}

Plan du transformateur, portant les positions de mesure par rapport aux traversées haute tension, la proximité des surfaces proches réfléchissant le son, par exemple un appareil, des murs, etc., et les positions de mesure du bruit de fond.

Hauteur du(des) microphone(s) au-dessus du sol et mètres.

Remarques, résultats supplémentaires, etc., (y compris les détails de tout niveau de bruit particulièrement élevé à des positions autres que les positions de mesure):

Niveau pondéré A de puissance acoustique, valeurs garanties:

Personnes présentes pendant les mesures de bruit:

Signature Date

REPORT OF SOUND LEVEL MEASUREMENT

Contract number and site

Manufacturer Place of measurement Date of measurement

Place of manufacture Measurement specification

Details of transformer:

Serial No. MVA Voltage ratio Connections

Tapping range

Details of measuring instrument:

Make Type Serial No.

Microphone type Microphone serial No.

Calibration data of instrument and microphone

Test conditions:

Excitation voltage Frequency Hz Tap position

A-weighted sound pressure levels $\overline{L}_{pA}$

Transf./Reactor without coolers
Transf./Reactor with coolers
Coolers without Transf./Reactor
Dry-Type Transf. without enclosure
Dry-Type Transf. with enclosure
Delete as appropriate

Plan position	1	dB	2	3	Plan position	1	dB	2	3	Plan position	1	dB	2	3	Plan position	1	dB	2	3
1					13					25					37				
2					14					26					38				
3					15					27					39				
4					16					28					40				
5					17					29					41				
6					18					30					42				
7					19					31					43				
8					20					32					44				
9					21					33					45				
10					22					34					46				
11					23					35					47				
12					24					36					48				

arithmetic/energy average

1 = noise of the equipment; 2 = background noise; 3 = corrected noise of the equipment

Environmental correction K

$\overline{L}_{pA}$

Area of effective surface:

- a) for measurements at 0.3 m from the principal radiating surface m²
b) for measurements at 2 m from the principal radiating surface m²
c) for measurements at 1 m from the principal radiating surface m²

$10 \log_{10} \frac{S}{S_0}$

For the French text, see page 24.

L_{WA}

Plan of transformer, indicating measuring positions with respect to the H. V. bushings, proximity of nearby sound reflecting surfaces, e.g. equipment, walls, etc., and positions of background noise level measurement.

Height of microphone(s) above ground and metres.

Remarks, additional results, etc. (including details of any significantly high sound pressure levels at positions other than the measuring positions):

A-weighted sound power level, guaranteed values:

Persons present during sound level measurements:

Signed Date

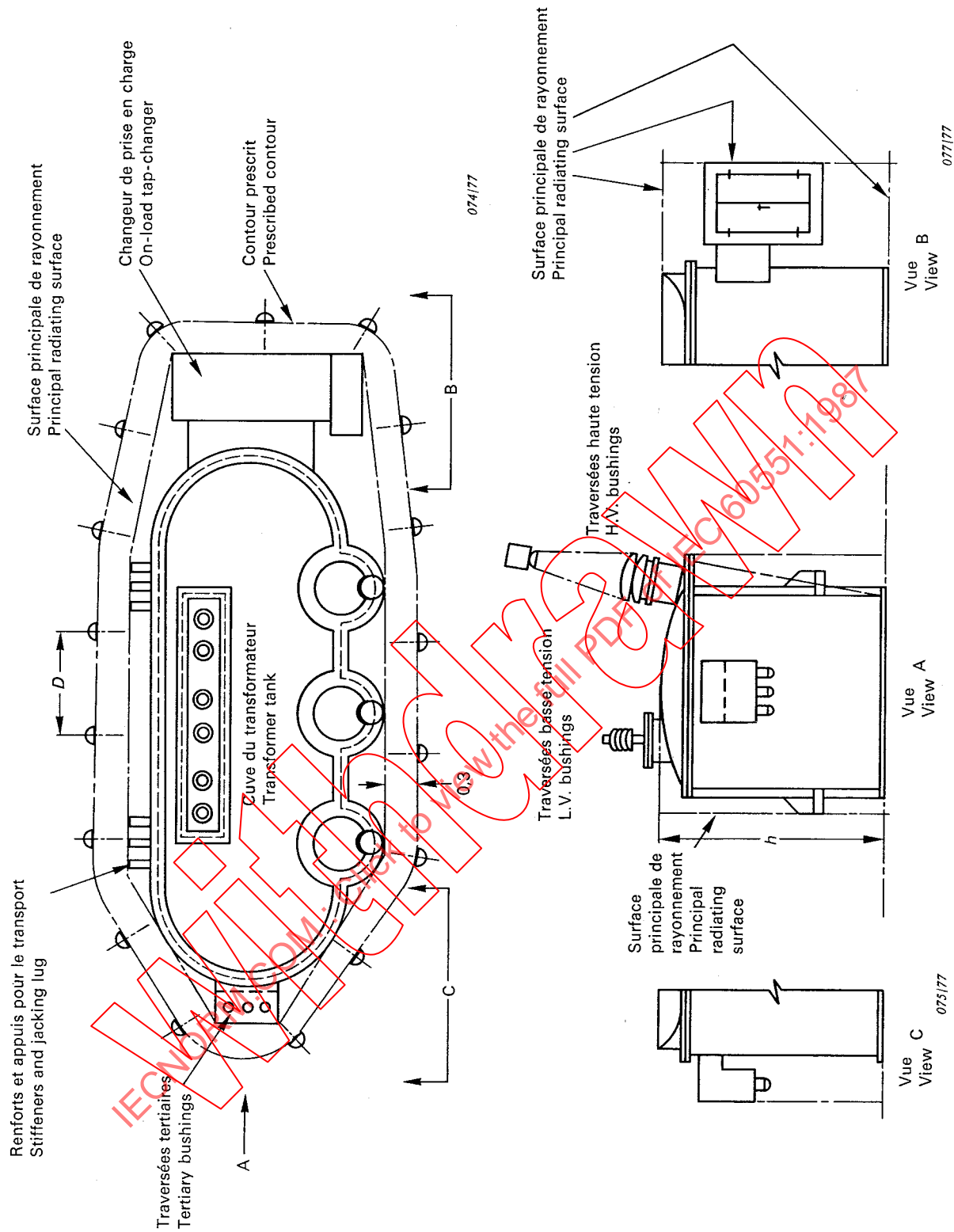
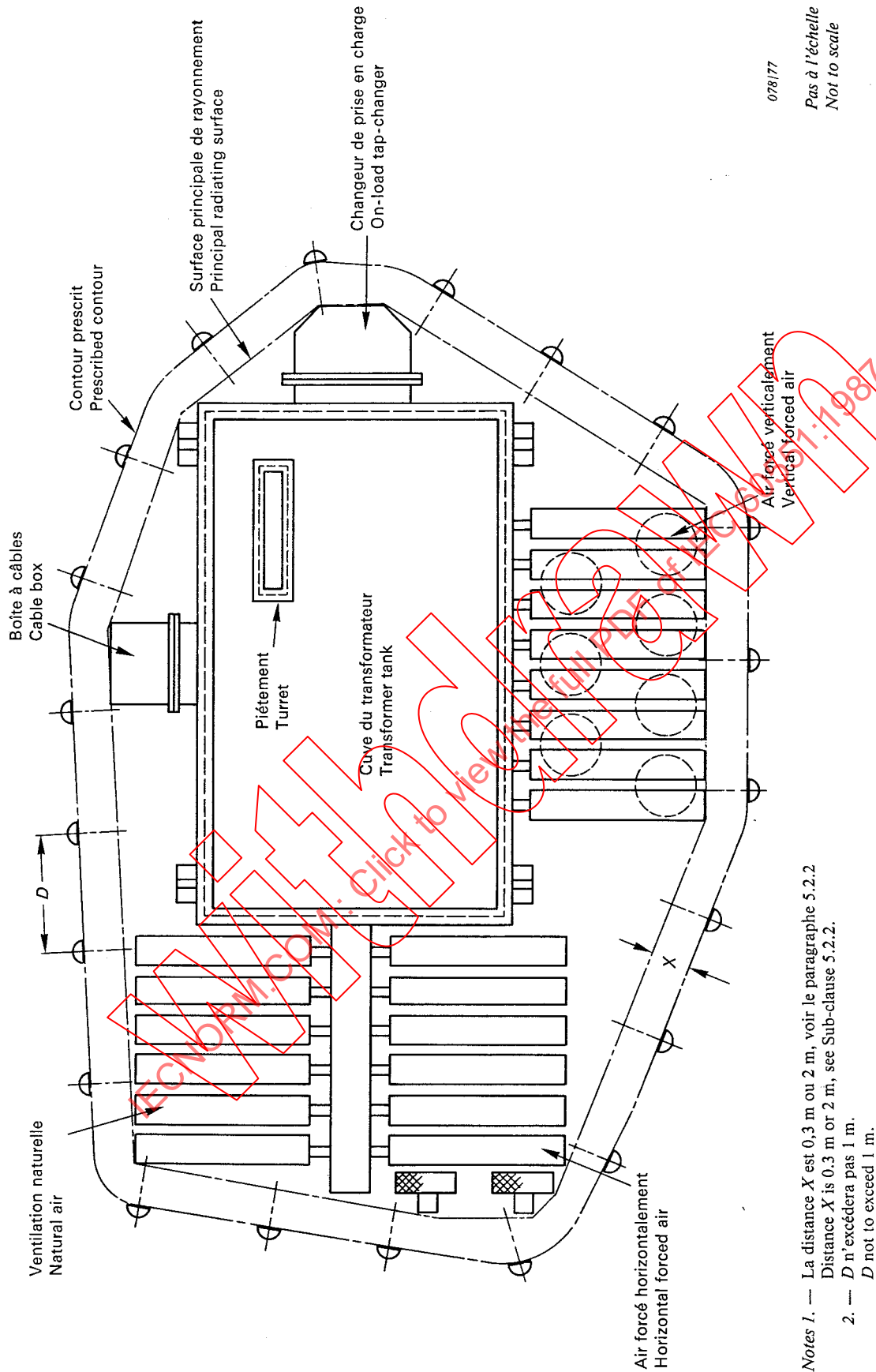
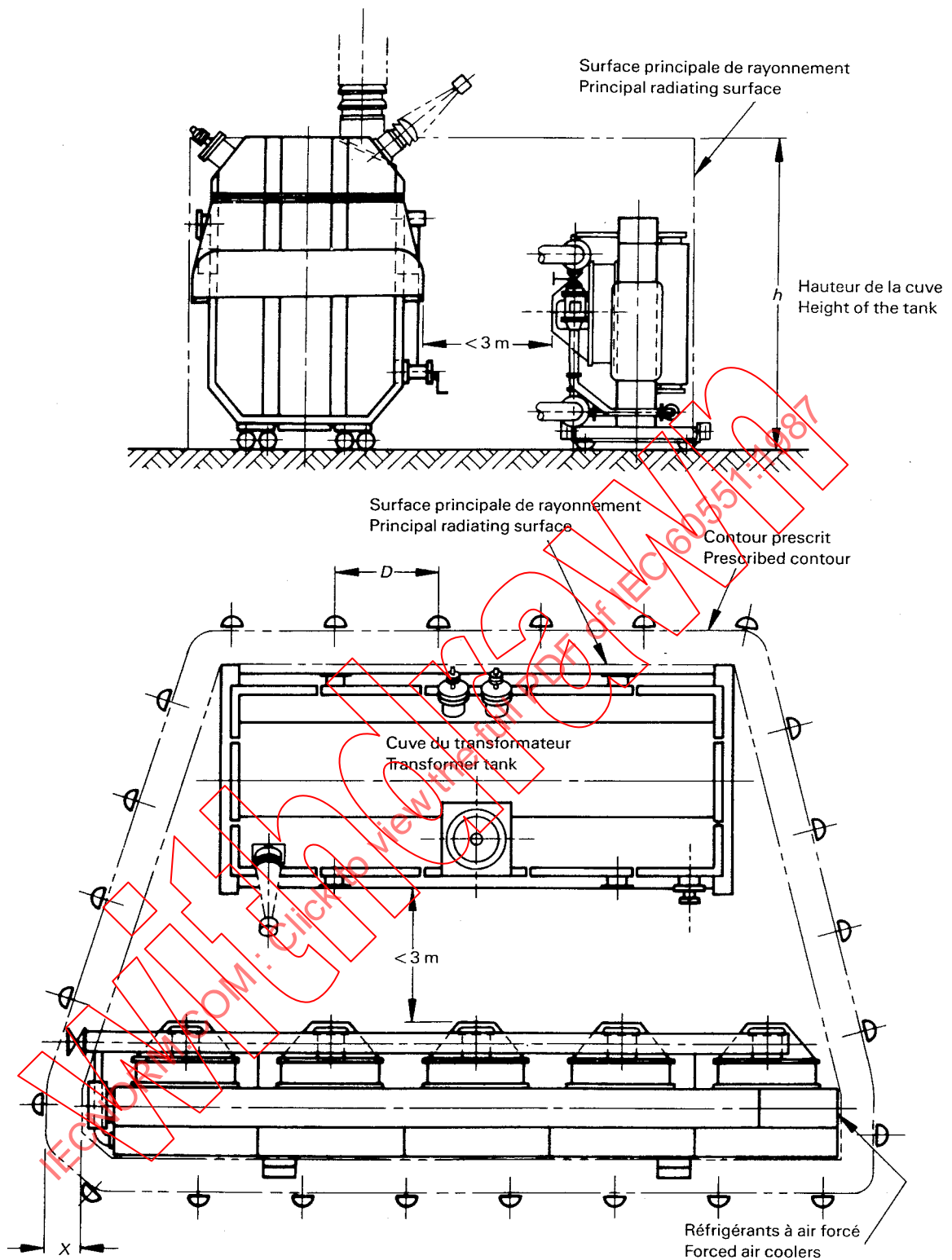


FIG. 1. — Positions types du microphone pour les mesures du bruit des transformateurs sans réfrigération.
Typical microphone positions for noise measurement on transformers excluding cooling equipment.



- Notes 1. — La distance X est 0,3 m ou 2 m, voir le paragraphe 5.2.2
Distance X is 0.3 m or 2 m, see Sub-clause 5.2.2.
2. — D n'excédra pas 1 m.
 D not to exceed 1 m.

FIG. 2. — Positions types du microphone pour les mesures du bruit des transformateurs dont les réfrigérants à air forcé sont montés directement sur la cuve ou sur un châssis séparé éloigné de moins de 3 m de la surface principale de rayonnement de la cuve du transformateur.
Typical microphone positions for noise measurement on transformers having forced air cooling auxiliaries either mounted directly on the tank or on a separate structure spaced less than 3 m away from the principal radiating surface of the transformer tank.



Notes 1. — La distance X est 0,3 m ou 2 m, voir le paragraphe 5.2.2.
Distance X is 0.3 m or 2 m, see Sub-clause 5.2.2.

2. — D n'excédera pas 1 m.
 D not to exceed 1 m.

Pas à l'échelle
Not to scale

FIG. 3. — Positions types du microphone pour les mesures du bruit des transformateurs pourvus de réfrigérants à air forcé séparés, éloignés de moins de 3 m de la surface principale de rayonnement de la cuve du transformateur.
Typical microphone positions for noise measurement on transformers with separate forced air coolers spaced less than 3 m away from the principal radiating surface of the transformer tank.

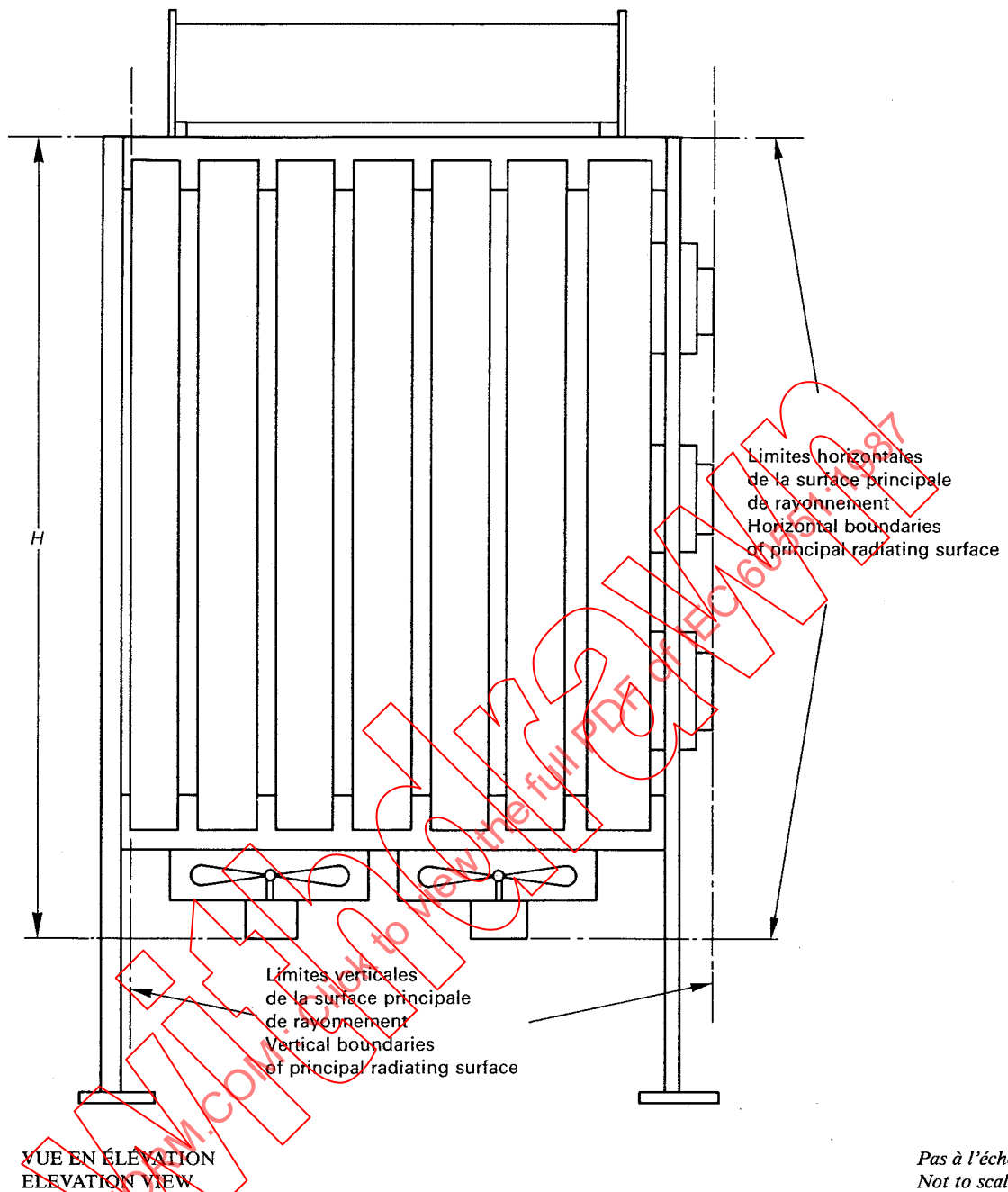
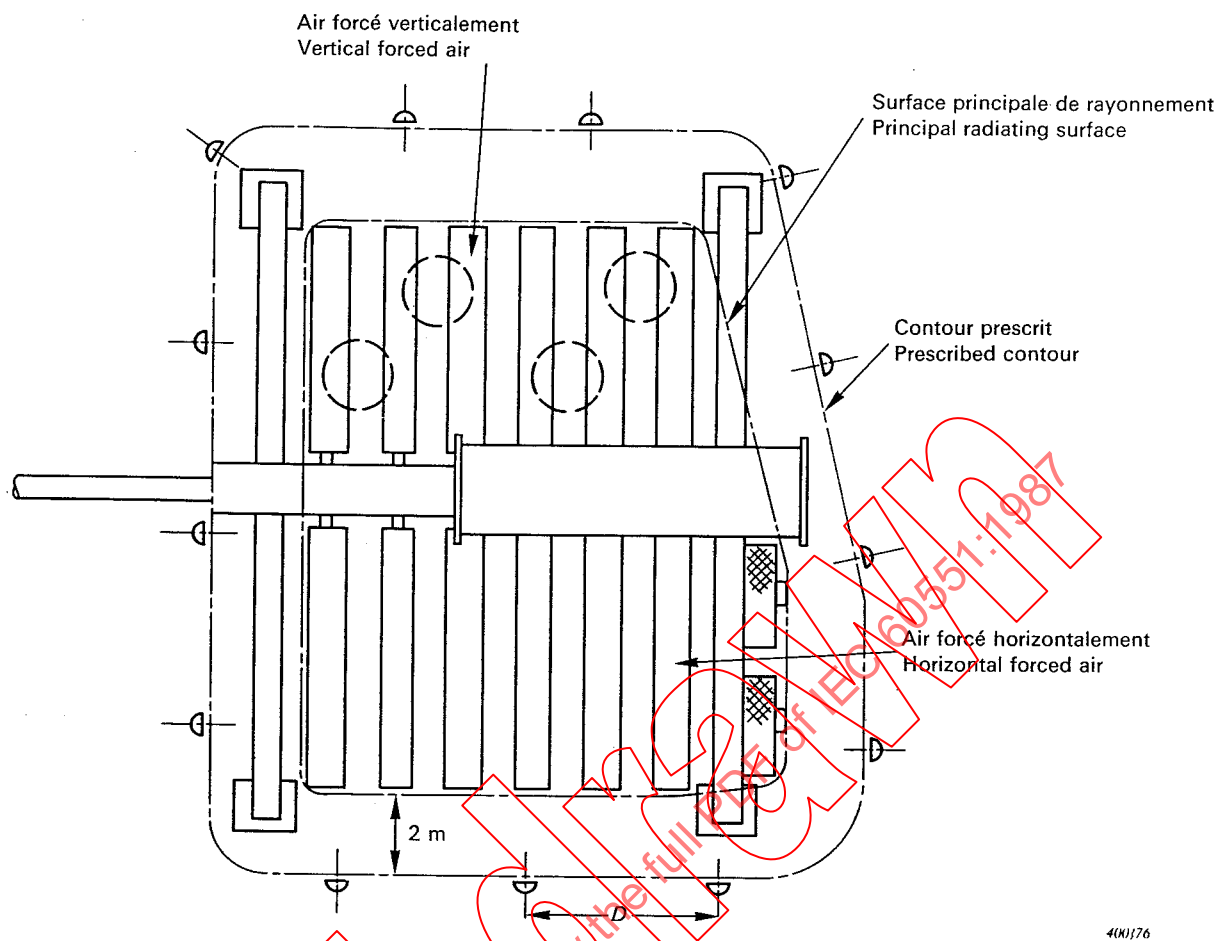


FIG. 4. — Batterie de refroidissement à air forcé représentant les limites de la surface principale de rayonnement.
Cooler with forced air cooling auxiliaries showing boundaries of principal radiating surface.

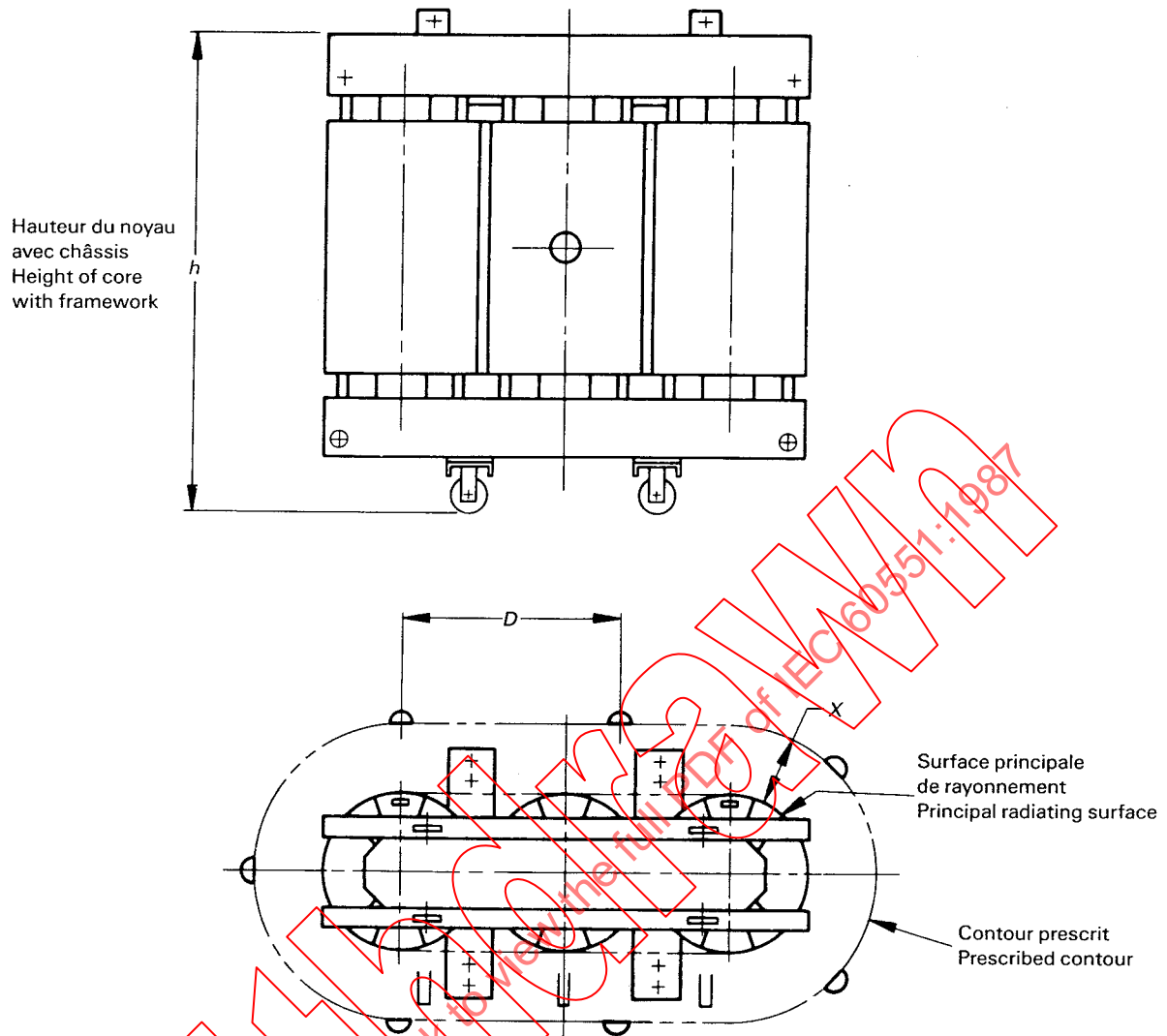


D n'excédera pas 1 m.
 D not to exceed 1 m.

400/76

Pas à l'échelle
Not to scale

FIG. 5. — Positions types du microphone pour les mesures du bruit des batteries de refroidissement à air forcé montées sur un châssis séparé éloigné d'au moins 3 m de la surface principale de rayonnement de la cuve du transformateur.
 Typical microphone positions for noise measurement on forced air cooling auxiliaries mounted on a separate structure spaced not less than 3 m away from the principal radiating surface of the transformer tank.



- Notes 1. — La distance X de 0,3 m ou 1 m, voir le paragraphe 5.2.4.
Distance X is 0,3 m or 1 m, see Sub-clause 5.2.4.
2. — D ne doit pas dépasser 1 m.
 D not to exceed 1 m.

Pas à l'échelle
Not to scale

FIG. 6. — Positions types du microphone pour les mesures du bruit sur les transformateurs de type sec sans enveloppe.
Typical microphone positions for noise measurement on dry-type transformers without enclosures.

ANNEXE A

MÉTHODE DE QUALIFICATION DE L'ENVIRONNEMENT D'ESSAI

A1. Généralités

On doit utiliser un environnement donnant approximativement un champ libre sur plan réfléchissant pour les mesurages effectués conformément à la présente norme. L'environnement peut être un espace en plein air ou une salle ordinaire si les conditions indiquées dans cette annexe sont remplies.

Les objets réfléchissants doivent être le plus éloignés possible de l'équipement soumis à l'essai, à l'exception du plan réfléchissant. Un local d'essai idéal devra comprendre une surface de mesure fictive située:

- a) à l'intérieur d'un champ acoustique non perturbé par les réflexions provenant des objets voisins et des parois du local,
- b) en dehors du champ proche de la source sonore soumise à l'essai pour les besoins de la présente norme.

Dans le cadre de la présente méthode de qualification de l'environnement d'essai, à des fréquences supérieures ou égales à 100 Hz, on considère que la surface de mesure se trouve en dehors du champ proche si la distance de mesure à partir de la source en essai est égale ou supérieure à 0,25 m.

Pour les mesurages effectués en plein air, les conditions prescrites par l'article A2 doivent être satisfaites. Pour les mesurages effectués à l'intérieur d'un local, l'une des méthodes prescrites par l'article A3 doit être suivie; sinon les mesurages effectués ne seront pas conformes aux spécifications de la présente norme.

A2. Conditions d'environnement

A2.1 Types de plans réfléchissants

Pour les mesurages effectués en plein air, le plan réfléchissant peut être constitué par le sol naturel sans perturbation ou par une surface en béton ou en asphalte compact. Pour les mesurages effectués à l'intérieur d'un local, le plan réfléchissant est ordinairement le plancher de ce local.

Note. — Lorsque la surface réfléchissante n'est pas le sol lui-même ou le plancher du local d'essai, on devra s'assurer qu'elle ne rayonne pas une quantité appréciable d'énergie acoustique par suite de vibrations.

A2.1.1 Forme et dimension

La projection de la surface de mesure sur le plan réfléchissant doit se trouver à l'intérieur des limites de celui-ci.

A2.1.2 Coefficient d'absorption acoustique

Le coefficient d'absorption acoustique du plan réfléchissant doit être de préférence inférieur à 0,1 à l'intérieur de la gamme de fréquence intéressante. Cette exigence est ordinairement satisfaite lorsqu'on effectue des mesurages en plein air sur des surfaces en béton, en asphalte compact, en sable ou en pierre.

Pour les plans réfléchissants ayant un coefficient d'absorption plus élevé, tels que, par exemple, le sol recouvert d'herbe ou de neige, la distance de mesure ne doit pas être supérieure à 1 m. Pour les mesurages effectués à l'intérieur d'une salle, le plancher peut être en bois ou en carreaux.

A2.2 Objets réfléchissants

Aucun objet réfléchissant qui ne fait pas partie de la source en essai ne doit se trouver à l'intérieur de la surface de mesure.