

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis

Matériels électriques remplis d'huile minérale en service – Recommandations relatives à l'interprétation de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.99; 29.040.10; 29.180

ISBN 978-2-8322-3696-3

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	8
3.1 Terms and definitions	8
3.2 Abbreviated terms	10
3.2.1 Chemical names and formulae	10
3.2.2 General abbreviated terms	10
4 Mechanisms of gas formation	11
4.1 Decomposition of oil	11
4.2 Decomposition of cellulosic insulation	12
4.3 Stray gassing of oil	12
4.4 Other sources of gas	12
5 Identification of faults	12
5.1 General	12
5.2 Dissolved gas compositions	13
5.3 Types of faults	13
5.4 Basic gas ratios	13
5.5 CO ₂ /CO ratio	15
5.6 O ₂ /N ₂ ratio	15
5.7 C ₂ H ₂ /H ₂ ratio	16
5.8 C ₃ hydrocarbons	16
5.9 Evolution of faults	16
5.10 Graphical representations	16
6 Conditions for calculating ratios	17
6.1 Examination of DGA values	17
6.2 Uncertainty on gas ratios	17
7 Application to free gases in gas relays	17
8 Gas concentration levels in service	19
8.1 Probability of failure in service	19
8.1.1 General	19
8.1.2 Calculation methods	20
8.2 Typical concentration values	20
8.2.1 General	20
8.2.2 Calculation methods	20
8.2.3 Choice of normality percentages	20
8.2.4 Alarm concentration values	20
8.3 Rates of gas increase	21
9 Recommended method of DGA interpretation	21
10 Report of results	22
Annex A (informative) Equipment application notes	24
A.1 General warning	24
A.2 Power transformers	24

A.2.1	Specific subtypes.....	24
A.2.2	Typical faults	24
A.2.3	Identification of faults by DGA	25
A.2.4	Typical concentration values.....	25
A.2.5	Typical rates of gas increase	26
A.2.6	Specific information to be added to the DGA report	27
A.3	Industrial and special transformers	27
A.3.1	Specific subtypes.....	27
A.3.2	Typical faults	27
A.3.3	Identification of faults by DGA	28
A.3.4	Typical concentration values.....	28
A.4	Instrument transformers	29
A.4.1	Specific subtypes.....	29
A.4.2	Typical faults	29
A.4.3	Identification of faults by DGA	29
A.4.4	Typical concentration values.....	30
A.5	Oil-impregnated paper bushings	30
A.5.1	Specific subtypes.....	30
A.5.2	Typical faults	30
A.5.3	Identification of faults by DGA	31
A.5.4	Typical concentration values.....	31
A.6	Oil-filled cables	32
A.6.1	Typical faults	32
A.6.2	Identification of faults by DGA	32
A.6.3	Typical concentration values.....	32
A.7	Switching equipment.....	33
A.7.1	Specific subtypes.....	33
A.7.2	Normal operation	33
A.7.3	Typical faults	33
A.7.4	Identification of faults by DGA	33
A.8	Equipment filled with non-mineral fluids	34
Annex B (informative)	Graphical representations of gas ratios	35
Bibliography.....		39
Figure 1 – Flow chart		23
Figure B.1 – Graphical representation 1 of gas ratios.....		35
Figure B.2 – Graphical representation 2 of gas ratios.....		36
Figure B.3 – Graphical representation 3 of gas ratios – Duval's triangle 1 for transformers, bushings and cables.....		37
Figure B.4 – Graphical representation 4 of gas ratios – Duval's triangle 2 for OLTCs (see A.7.2).....		38
Table 1 – DGA interpretation table.....		14
Table 2 – Simplified scheme of interpretation.....		14
Table 3 – Ostwald solubility coefficients for various gases in mineral insulating oils.....		19
Table A.1 – Typical faults in power transformers		25
Table A.2 – Ranges of 90 % typical gas concentration values observed in power transformers		26

Table A.3 – Ranges of 90 % typical rates of gas increase observed in power transformers (all types)	26
Table A.4 – Examples of 90 % typical concentration values observed on individual networks	28
Table A.5 – Ranges of 90 % typical concentration values observed in WTTs	28
Table A.6 – Typical faults in instrument transformers	29
Table A.7 – Ranges of 90 % typical concentration values observed in instrument transformers	30
Table A.8 – Maximum admissible values for sealed instrument transformers.....	30
Table A.9 – Typical faults in bushings	31
Table A.10 – Simplified interpretation scheme for bushings	31
Table A.11 – Ranges of 90 % typical concentration values in bushings	32
Table A.12 – Ranges of 95 % typical concentration values observed on cables	33
Table A.13 – Typical faults in switching equipment	33

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MINERAL OIL-FILLED ELECTRICAL EQUIPMENT
IN SERVICE – GUIDANCE ON THE INTERPRETATION
OF DISSOLVED AND FREE GASES ANALYSIS**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60599 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications. It is an International Standard.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2015. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) revision of Clause A.5 on bushings, at the request of IEC subcommittee 36A, in order to transfer to IEC 60599 the corresponding contents of IEC TR 61464 [1]¹ relating to DGA in bushings and include the new information on DGA in bushings available in CIGRE Technical Brochure 771 (2019) [2];

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

- b) revision of Clause A.3 on wind turbine transformers, in order to include in IEC 60599 the new information on DGA in wind turbine transformers available in CIGRE Technical Brochure 771 (2019) [2].

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
10/1164/FDIS	10/1174/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

Dissolved and free gas analysis (DGA) is one of the most widely used diagnostic tools for detecting and evaluating faults in electrical equipment filled with insulating liquid. However, interpretation of DGA results is often complex and should always be done with care, involving experienced insulation maintenance personnel.

This document gives information for facilitating this interpretation. The first edition, published in 1978, has served the industry well, but had its limitations, such as the absence of a diagnosis in some cases, the absence of concentration levels and the fact that it was based mainly on experience gained from power transformers. The second edition (2015) attempted to address some of these shortcomings. Interpretation schemes were based on observations made after inspection of a large number of faulty oil-filled equipment in service and concentrations levels deduced from analyses collected worldwide.

MINERAL OIL-FILLED ELECTRICAL EQUIPMENT IN SERVICE – GUIDANCE ON THE INTERPRETATION OF DISSOLVED AND FREE GASES ANALYSIS

1 Scope

This document describes how the concentrations of dissolved gases or free gases can be interpreted to diagnose the condition of oil-filled electrical equipment in service and suggest future action.

This document is applicable to electrical equipment filled with mineral insulating oil and insulated with cellulosic paper or pressboard-based solid insulation. Information about specific types of equipment such as transformers (power, instrument, industrial, railways, distribution), reactors, bushings, switchgear and oil-filled cables is given only as an indication in the application notes.

This document can be applied, but only with caution, to other liquid-solid insulating systems.

In any case, the indications obtained are given only as guidance with resulting action undertaken only with proper engineering judgment.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60475, *Method of sampling insulating liquids*

IEC 60567:2011, *Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and analysis of free and dissolved gases – Guidance*

IEC 61198, *Mineral insulating oils – Methods for the determination of 2-furfural and related compounds*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	43
INTRODUCTION.....	45
1 Domaine d'application	46
2 Références normatives	46
3 Termes, définitions et termes abrégés	46
3.1 Termes et définitions	46
3.2 Termes abrégés.....	49
3.2.1 Noms et formules chimiques	49
3.2.2 Termes abrégés généraux	49
4 Mécanismes de formation des gaz.....	50
4.1 Décomposition de l'huile	50
4.2 Décomposition de l'isolation cellulosique	50
4.3 Stray gassing de l'huile	51
4.4 Autres sources de gaz	51
5 Identification des défauts.....	51
5.1 Généralités	51
5.2 Composition des gaz dissous.....	52
5.3 Types de défauts	52
5.4 Rapports fondamentaux de gaz.....	52
5.5 Rapport CO ₂ /CO.....	54
5.6 Rapport O ₂ /N ₂	55
5.7 Rapport C ₂ H ₂ /H ₂	55
5.8 Hydrocarbures en C ₃	55
5.9 Évolution des défauts.....	55
5.10 Représentations graphiques	56
6 Conditions de calcul des rapports	56
6.1 Examen des valeurs d'AGD.....	56
6.2 Incertitude sur les rapports de gaz	57
7 Application aux gaz libres dans les relais de protection réagissant aux gaz	57
8 Niveaux en service des concentrations de gaz.....	59
8.1 Probabilité de défaillance en service	59
8.1.1 Généralités	59
8.1.2 Méthodes de calcul.....	59
8.2 Valeurs types de concentration	60
8.2.1 Généralités	60
8.2.2 Méthodes de calcul.....	60
8.2.3 Choix des pourcentages de normalité	60
8.2.4 Valeurs d'alarme de concentration	60
8.3 Vitesses d'accroissement de gaz	61
9 Méthode recommandée pour l'interprétation des AGD	61
10 Rapport des résultats	62
Annex A (informative) Notes d'application aux matériels	64
A.1 Avertissement général	64
A.2 Transformateurs de puissance	64

A.2.1	Catégories spécifiques	64
A.2.2	Défauts types	64
A.2.3	Identification des défauts par AGD	65
A.2.4	Valeurs types de concentration	66
A.2.5	Vitesses d'accroissement de gaz types	66
A.2.6	Informations spécifiques à joindre au rapport d'AGD	67
A.3	Transformateurs industriels et transformateurs spéciaux	67
A.3.1	Catégories spécifiques	67
A.3.2	Défauts types	68
A.3.3	Identification des défauts par AGD	68
A.3.4	Valeurs types de concentration	68
A.4	Transformateurs de mesure	69
A.4.1	Catégories spécifiques	69
A.4.2	Défauts types	70
A.4.3	Identification des défauts par AGD	70
A.4.4	Valeurs types de concentration	70
A.5	Traversées en papier imprégné d'huile	71
A.5.1	Catégories spécifiques	71
A.5.2	Défauts types	71
A.5.3	Identification des défauts par AGD	72
A.5.4	Valeurs types de concentration	72
A.6	Câbles à huile fluide	73
A.6.1	Défauts types	73
A.6.2	Identification des défauts par AGD	73
A.6.3	Valeurs types de concentration	74
A.7	Matériels de coupure	74
A.7.1	Catégories spécifiques	74
A.7.2	Fonctionnement normal	74
A.7.3	Défauts types	74
A.7.4	Identification des défauts par AGD	75
A.8	Matériels remplis de fluides non minéraux	75
Annex B (informative)	Représentations graphiques des rapports de gaz	76
Bibliographie		80
Figure 1 – Ordinogramme		63
Figure B.1 – Représentation graphique n° 1 des rapports de gaz		76
Figure B.2 – Représentation graphique n° 2 des rapports de gaz		77
Figure B.3 – Représentation graphique n° 3 des rapports de gaz – Triangle de Duval no 1 pour les transformateurs, les traversées et les câbles		78
Figure B.4 – Représentation graphique n° 4 des rapports de gaz – Triangle de Duval no 2 pour les OLTC (voir A.7.2)		79
Tableau 1 – Table d'interprétation d'AGD		53
Tableau 2 – Schéma d'interprétation simplifié		53
Tableau 3 – Coefficients de solubilité d'Ostwald pour différents gaz dans les huiles minérales isolantes		58
Tableau A.1 – Défauts types dans les transformateurs de puissance		65

Tableau A.2 – Plages de valeurs types de concentration de gaz à 90 % observées dans les transformateurs de puissance	66
Tableau A.3 – Plages de vitesses d'accroissement de gaz types à 90 % observées dans les transformateurs de puissance (tous types confondus).....	67
Tableau A.4 – Exemples de valeurs types à 90 % de concentration observées sur des réseaux individuels	69
Tableau A.5 – Plages de valeurs types à 90 % de concentration observées sur les transformateurs pour éoliennes (WTT).....	69
Tableau A.6 – Défauts types dans les transformateurs de mesure	70
Tableau A.7 – Plages de valeurs types à 90 % de concentration observées sur les transformateurs de mesure	71
Tableau A.8 – Valeurs maximales admissibles pour transformateurs de mesure hermétiques.....	71
Tableau A.9 – Défauts types dans les traversées.....	72
Tableau A.10 – Schéma d'interprétation simplifié pour les traversées	72
Tableau A.11 – Plages de valeurs types à 90 % de concentration dans les traversées.....	73
Tableau A.12 – Plages de valeurs types à 95 % de concentration observées sur des câbles	74
Tableau A.13 – Défauts types dans les matériels de coupure.....	75

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MATÉRIELS ÉLECTRIQUES REMPLIS D'HUILE MINÉRALE EN SERVICE –
RECOMMANDATIONS RELATIVES À L'INTERPRÉTATION DE
L'ANALYSE DES GAZ DISSOUS ET DES GAZ LIBRES**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60599 a été établie par le comité d'études 10 de l'IEC: Fluides pour applications électrotechniques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2015. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) révision de l'Article A.5 sur les traversées, à la demande du sous-comité 36A de l'IEC, afin de transférer à l'IEC 60599 le contenu qui correspond à l'IEC TR 61464 [1]¹ relatif à l'AGD dans les traversées. Elle vise également à transférer les nouvelles informations relatives à l'AGD dans les traversées, disponibles dans la Brochure technique CIGRE 771 (2019) [1];
- b) révision de l'Article A.3 sur les transformateurs pour éoliennes afin de transférer à l'IEC 60599 les nouvelles informations relatives à l'AGD dans les transformateurs pour éoliennes, disponibles dans la Brochure technique CIGRE 771 (2019) [1].

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
10/1164/FDIS	10/1174/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

INTRODUCTION

L'analyse des gaz libres et des gaz dissous dans l'huile (AGD) est l'un des outils de diagnostic les plus couramment utilisés pour la détection et l'évaluation de défauts dans les matériels électriques remplis de liquide isolant. Cependant, l'interprétation des résultats d'AGD est souvent complexe et il convient qu'elle soit toujours faite avec prudence, en faisant appel à du personnel expérimenté en maintenance des isolants.

Le présent document fournit des informations qui visent à faciliter cette interprétation. La première édition, parue en 1978, a bien servi l'industrie électrique, mais avait ses limites, comme l'absence de diagnostic dans certains cas, l'absence de niveaux de concentration et le fait de reposer principalement sur l'expérience acquise avec les transformateurs de puissance. La deuxième édition (2015) a tenté de remédier à certaines de ces insuffisances. Les schémas d'interprétation étaient fondés sur des observations qui résultent d'examens effectués sur un grand nombre d'appareils remplis d'huile, après un défaut en service, et sur les niveaux de concentration qui résultent d'analyses recueillies dans le monde entier.

MATÉRIELS ÉLECTRIQUES REMPLIS D'HUILE MINÉRALE EN SERVICE – RECOMMANDATIONS RELATIVES À L'INTERPRÉTATION DE L'ANALYSE DES GAZ DISSOUS ET DES GAZ LIBRES

1 Domaine d'application

Le présent document décrit la façon dont les concentrations de gaz dissous ou de gaz libres peuvent être interprétées pour diagnostiquer l'état des matériels électriques remplis d'huile en service et pour proposer une intervention ultérieure.

Le présent document s'applique aux matériels électriques remplis d'huile minérale isolante et isolés par des isolants solides constitués de papier ou de carton cellulosiques. Des informations relatives aux types spécifiques de matériels tels que les transformateurs (de puissance, de mesure, industriels, ferroviaires, de distribution), les réactances, les traversées, les appareillages de connexion et les câbles à huile fluide sont données, à titre informatif seulement, dans les notes d'application.

Le présent document peut être appliqué, mais uniquement avec prudence, à d'autres systèmes d'isolation liquide-solide.

Dans tous les cas, les indications obtenues sont données uniquement à titre de recommandations et toute action qui en résulte n'est à entreprendre qu'après une appréciation technique convenable.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60475, *Méthode d'échantillonnage des liquides isolants*

IEC 60567:2011, *Matériels électriques immergés – Échantillonnage de gaz et analyse des gaz libres et dissous – Lignes directrices*

IEC 61198, *Huiles minérales isolantes – Méthodes pour la détermination du 2-furfural et ses dérivés*