



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



**Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance**

**Huiles minérales isolantes dans les matériels électriques – Lignes directrices pour la maintenance et la surveillance**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 29.040.10

ISBN 978-2-8322-9202-0

**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.....	9
2 Normative references .....	9
3 Terms and definitions .....	11
4 Properties and deterioration or degradation of oil .....	12
5 Categories of equipment.....	12
6 Sampling of oil from equipment.....	13
7 In-service oil diagnostic tests.....	14
7.1 General.....	14
7.2 Colour.....	15
7.3 Appearance .....	15
7.4 Breakdown voltage (BDV) .....	15
7.5 Water content .....	16
7.5.1 Water content in the oil and paper system .....	16
7.5.2 Influence of water on the solid and liquid dielectric system .....	16
7.5.3 Water in oil .....	17
7.5.4 Water in the solid insulation.....	18
7.5.5 Interpretation of results.....	19
7.6 Acidity.....	20
7.7 Dielectric dissipation factor (DDF) and resistivity .....	21
7.8 Inhibitor content.....	22
7.8.1 Oxidation stability .....	22
7.8.2 Monitoring of uninhibited and inhibited oils .....	22
7.9 Sediment .....	22
7.10 Sludge .....	23
7.11 Interfacial tension (IFT).....	23
7.12 Particles .....	23
7.13 Flash point.....	24
7.14 Compatibility .....	24
7.14.1 General .....	24
7.14.2 Compatibility between different insulating mineral oils (miscibility).....	24
7.15 Pour point .....	25
7.16 Density .....	25
7.17 Viscosity .....	26
7.18 Polychlorinated biphenyls (PCBs) .....	26
7.19 Corrosive sulphur in mineral insulating oil .....	26
7.19.1 General .....	26
7.19.2 Corrosive sulphur .....	27
7.19.3 Potentially corrosive sulphur.....	27
7.19.4 Dibenzyl disulphide (DBDS).....	27
7.20 Metal passivator.....	28
7.21 Air release and foaming .....	28
8 Evaluation of mineral insulating oil in new equipment .....	28
9 Evaluation of oil in service .....	29
9.1 General.....	29

9.2	Frequency of examination of oils in service .....	30
9.3	Testing procedures .....	31
9.3.1	General .....	31
9.3.2	Field tests.....	31
9.3.3	Laboratory tests.....	32
9.4	Classification of the condition of oils in service .....	32
9.4.1	General .....	32
9.4.2	Transformers .....	32
9.4.3	Tap-changers .....	32
9.4.4	Instrument and protection transformers.....	33
9.4.5	Circuit breakers and switchgear.....	33
9.4.6	Oil filled and OIP bushings .....	33
9.5	Corrective action.....	34
10	Interpretation of results.....	35
11	Handling and storage.....	45
12	Replacement of oil in electrical equipment.....	46
12.1	Replacement of oil in transformers with an $U_m$ below 72,5 kV and in switchgear and associated equipment.....	46
12.2	Replacement of oil in transformers with an $U_m$ of 72,5 kV and above.....	46
12.3	Replacement of oil in electrical equipment contaminated with PCBs .....	47
13	Addition of metal passivators to in-service oil .....	47
14	Treatment.....	47
14.1	Warning .....	47
14.2	Classification of treatment processes .....	48
14.2.1	General .....	48
14.2.2	Off-line (de-energized) vs on-line (energized) treatment .....	48
14.2.3	Batch vs continuous mode treatment .....	49
14.3	Reconditioning (degassing, drying and filtration).....	49
14.3.1	General .....	49
14.3.2	Reconditioning equipment.....	50
14.3.3	Application to electrical equipment .....	52
14.4	Reclaiming.....	53
14.4.1	General .....	53
14.4.2	Reclaiming by percolation with single use sorbents .....	54
14.4.3	Reclaiming process using reactivating sorbents.....	54
14.4.4	Renewal of additives .....	56
14.5	Removal of PCBs using dehalogenation and related processes .....	56
14.5.1	General .....	56
14.5.2	Dehalogenation processes using sodium and lithium derivatives .....	56
14.5.3	Dehalogenation processes using polyethylene glycol and potassium hydroxide (KPEG).....	56
14.5.4	Dehalogenation in continuous mode by closed circuit process .....	56
14.5.5	Corrosive sulphur removal using KPEG .....	57
14.6	Criteria for oil reclamation and treatments.....	57
Annex A (normative)	Criteria for reclamation and treatments .....	58
A.1	General.....	58
A.2	Key parameters to measure before and after reclamation .....	58
A.3	Addition of inhibitor after reclamation .....	59

A.4	Time and location of sampling.....	60
Annex B (informative)	General guideline for moisture %RS for continuous online monitoring.....	61
Annex C (informative)	Normalizing water in oil for comparison and trending (historical practice) .....	62
C.1	General.....	62
C.2	Sampling temperature at or above 35 °C.....	62
Annex D (informative)	Material compatibility .....	64
Annex E (informative)	Test method for determination of sediment and sludge .....	66
E.1	Sediment determination .....	66
E.2	Sludge determination .....	66
Annex F (informative)	Contamination of oils with silicone.....	67
Bibliography	.....	68
Figure 1	– Water solubility curves for unused mineral oil as adapted from literature [5] (according to Formula (3)) .....	18
Figure 2	– Hysteresis loops of %RS vs. oil temperature in transformers with 3 different water content levels [5] .....	20
Figure 3	– Correlation between resistivity and dissipation factor [6] .....	21
Figure C.1	– Normalization factors according to Formula (C.2) .....	63
Table 1	– Categories of equipment .....	13
Table 2	– Tests for in-service mineral insulating oils .....	14
Table 3	– Recommended limits for mineral insulating oils after filling in new electrical equipment prior to first energization at site .....	29
Table 4	– Recommended frequency of testing .....	31
Table 5	– Transformers and reactors – Application and interpretation of tests.....	35
Table 6	– Tap-changers – Application and interpretation of tests .....	41
Table 7	– Instrument and protection transformers – Application and interpretation of tests .....	42
Table 8	– Circuit breakers and switchgear – Application and interpretation of tests.....	43
Table 9	– Oil filled and OIP bushings – Application and interpretation of tests .....	44
Table 10	– Summary of typical actions.....	45
Table 11	– Conditions for processing mineral insulating oils (both inhibited and uninhibited).....	50
Table 12	– Beta ratio related to filter efficiency .....	51
Table A.1	– Parameters where limits should be agreed upon .....	58
Table A.2	– Parameters where limits should not necessarily be set but should be measured for baseline and trending .....	59
Table B.1	– Moisture %RS, continuous online monitoring, general guideline .....	61

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

# MINERAL INSULATING OILS IN ELECTRICAL EQUIPMENT – SUPERVISION AND MAINTENANCE GUIDANCE

## 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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60422 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications. It is an International Standard.

This fifth edition cancels and replaces the fourth edition published in 2013. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) This new edition represents a major revision of the fourth edition, bringing this document in line with the latest developments in oil condition monitoring. New interpretation tables have been created, containing limits for oil parameters specific to plant type with suggested corrective actions in the tables and new test methods.
- b) The action limits for all oil tests have been revised and changes made where necessary to enable users to use current methodology and comply with requirements and regulations affecting safety and environmental aspects.

- c) Category O has been removed and is now incorporated within category A.
- d) Online moisture interpretation is now incorporated.
- e) More guidance on oil treatment (including reclamation criteria) is now available.
- f) Guidance has been updated regarding corrosive sulphur.
- g) In addition, this document incorporates changes introduced in associated standards since the fourth edition was published.

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

Draft	Report on voting
10/1233/FDIS	10/1239/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](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/publications](http://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](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

**IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## INTRODUCTION

Insulating mineral oils are used in electrical equipment employed in the generation, transmission, distribution, and use of electrical energy.

Monitoring and maintaining oil quality is essential to ensure the reliable operation of oil-filled electrical equipment. Codes of practice for this purpose have been established by electrical power authorities, power companies and industries in many countries.

A review of current experience reveals a wide variation of procedures and guidance. It is possible, however, to compare the value and significance of standardized oil tests and to recommend uniform criteria for the evaluation of test data.

If a certain amount of oil deterioration (by degradation or contamination) is exceeded, there is inevitably some erosion of safety margins and the question of the risk of failure should be considered. While the quantification of the risk can be very difficult, a first step involves the identification of potential effects of increased deterioration. The philosophy underlying this document is to furnish users with as broad a base of understanding of oil quality deterioration as is available, so that they can make informed decisions on inspection and maintenance practices.

Mineral oils are valuable resources and should be utilised accordingly. Used mineral oils are, by most regulations, deemed to be controlled waste. If spills occur, this can have a negative environmental impact especially if the oil is contaminated by persistent organic pollutants such as polychlorinated biphenyls (PCBs).

This document, whilst technically sound, is mainly intended to serve as a common basis for the preparation of more specific and complete codes of practice by users in the light of local circumstances. Sound engineering judgement will have to be exerted in seeking the best compromise between technical requirements and economic factors.

Reference should also be made to instructions from the equipment manufacturer.

### **General caution**

This document does not purport to address all the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this document to establish appropriate health and safety practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

The handling of mineral oils can be subject to local regulatory requirements and suppliers' safety datasheets.

### **Environment, health, and safety**

This document is applicable to mineral oils, chemicals and used sample containers. The disposal of these items can be subject to local regulatory requirements regarding their impact on the environment.

Attention is drawn to the fact that, at the time of writing this document, some mineral oils in service are known to be contaminated to some degree with other liquids, for example, silicone oils and PCBs.

Because of this, safety countermeasures should be taken to avoid risks to workers, the public and the environment during the life of the equipment, by strictly controlling spills and emissions. The disposal or decontamination of these oils can be subject to local regulatory requirements. Every precaution should be taken to prevent release of mineral oil into the environment.

This is a preview of IEC 60422 Ed. 5.0 b:2024. [Click here to purchase the full version from the ANSI store.](#)

Typically, each country has specific regulations around health and safety. Safety Data Sheets (SDS) are normally used by the industry internationally and are usually written in accordance with an international regulation set (such as REACH [1]<sup>1</sup>). Please consult the SDS from the suppliers of the insulating product that is used. These documents provide essential information regarding health, safety, and environmental impacts.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the Bibliography.



## MINERAL INSULATING OILS IN ELECTRICAL EQUIPMENT – SUPERVISION AND MAINTENANCE GUIDANCE

### 1 Scope

This document provides monitoring guidance and procedures that are required for the use and maintenance of mineral insulating oils and other hydrocarbon-based liquids in transformers and other electrical equipment, including strategic spares and tanks for holding spare parts and components.

This document is applicable to mineral insulating oils, originally supplied conforming to IEC 60296, in transformers, switchgear and other electrical apparatus where oil sampling is reasonably practicable, and where the normal operating conditions specified in the equipment specifications apply.

This document is also intended to assist the power equipment operator to evaluate the condition of the oil and maintain it in a serviceable condition. It also provides a common basis for the preparation of more specific and complete local codes of practice.

The document includes recommendations on tests and evaluation procedures, and outlines methods for reconditioning and reclaiming oil, and the decontamination of oil contaminated with PCBs.

NOTE The condition monitoring of electrical equipment, for example by analysis of dissolved gases, furanic compounds or other means, is outside the scope of this document.

### 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 60156, *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method*

IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ( $\tan \delta$ ) and d.c. resistivity*

IEC 60296:2020, *Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment*

IEC 60475, *Method of sampling insulating liquids*

IEC 60666:2010, *Detection and determination of specified additives in mineral insulating oils*

IEC 60814, *Insulating liquids – Oil-impregnated paper and pressboard – Determination of water by automatic coulometric Karl Fischer titration*

IEC 60970, *Insulating liquids – Methods for counting and sizing particles*

IEC 61125:2018, *Insulating liquids – Test methods for oxidation stability – Test method for evaluating the oxidation stability of insulating liquids in the delivered state*

IEC 61619, *Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography*

IEC 62021-1, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 1: Automatic potentiometric titration*

IEC 62021-2, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 2: Colourimetric titration*

IEC 62535:2008, *Insulating liquids – Test method for detection of potentially corrosive sulphur in used and unused insulating oil*

IEC 62697-1, *Test methods for quantitative determination of corrosive sulfur compounds in unused and used insulating liquids – Part 1: Test method for quantitative determination of dibenzyl disulfide (DBDS)*

IEC 62961, *Insulating liquids – Test methods for the determination of interfacial tension of insulating liquids – Determination with the ring method*

ISO 2049, *Petroleum products – Determination of colour (ASTM scale)*

ISO 2719, *Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method*

ISO 3016, *Petroleum and related products from natural or synthetic sources – Determination of pour point*

ISO 3104, *Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity*

ISO 3675, *Crude petroleum and liquid petroleum products – Laboratory determination of density – Hydrometer method*

ISO 6247, *Petroleum products – Determination of foaming characteristics of lubricating oils*

ISO 9120, *Petroleum and related products – Determination of air-release properties of steam turbine and other oils – Impinger method*

ISO 12185, *Crude petroleum and petroleum products – Determination of density – Oscillating U-tube method*

ASTM D971, *Standard Test Method for Interfacial Tension of Insulating Liquids Against Water by the Ring Method*

ASTM D7042, *Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity)*

DIN 51353, *Testing of insulating oils – Detection of corrosive sulphur – Silver strip test*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	73
INTRODUCTION.....	75
1 Domaine d'application .....	77
2 Références normatives .....	77
3 Termes et définitions .....	79
4 Propriétés et détérioration ou dégradation de l'huile .....	80
5 Catégories de matériels.....	81
6 Échantillonnage de l'huile dans les matériels.....	82
7 Essais de diagnostic de l'huile en service .....	82
7.1 Généralités .....	82
7.2 Couleur.....	83
7.3 Aspect .....	83
7.4 Tension de claquage (BDV) .....	84
7.5 Teneur en eau .....	84
7.5.1 Teneur en eau dans le système huile et papier .....	84
7.5.2 Influence de l'eau sur le système diélectrique solide et liquide.....	85
7.5.3 Eau dans l'huile .....	86
7.5.4 Eau dans l'isolation solide .....	87
7.5.5 Interprétation des résultats .....	88
7.6 Acidité .....	90
7.7 Facteur de dissipation diélectrique (FDD) et résistivité.....	90
7.8 Teneur en inhibiteur.....	91
7.8.1 Stabilité à l'oxydation.....	91
7.8.2 Surveillance des huiles non inhibées et inhibées .....	91
7.9 Dépôts .....	92
7.10 Boues .....	92
7.11 Tension interfaciale (TIF).....	92
7.12 Particules.....	93
7.13 Point d'éclair .....	93
7.14 Compatibilité.....	93
7.14.1 Généralités .....	93
7.14.2 Compatibilité entre différentes huiles minérales isolantes (miscibilité) .....	94
7.15 Point d'écoulement .....	95
7.16 Masse volumique .....	95
7.17 Viscosité .....	95
7.18 Polychlorobiphényles (PCB).....	96
7.19 Soufre corrosif dans les huiles minérales isolantes .....	96
7.19.1 Généralités .....	96
7.19.2 Soufre corrosif.....	97
7.19.3 Soufre potentiellement corrosif .....	97
7.19.4 Disulfure de dibenzyle (DBDS) .....	97
7.20 Passivant de métaux.....	98
7.21 Désaération et formation de mousse.....	98
8 Évaluation de l'huile minérale isolante dans les matériels à l'état neuf.....	98
9 Évaluation de l'huile en service.....	99
9.1 Généralités .....	99

9.2	Fréquence des examens de l'huile en service .....	100
9.3	Procédures d'essais.....	101
9.3.1	Généralités.....	101
9.3.2	Essais sur site.....	102
9.3.3	Essais en laboratoire.....	102
9.4	Classification des états des huiles en service .....	102
9.4.1	Généralités.....	102
9.4.2	Transformateurs.....	103
9.4.3	Changeurs de prises.....	103
9.4.4	Transformateurs de mesure et de protection.....	103
9.4.5	Disjoncteurs et appareillages de connexion.....	103
9.4.6	Traversées remplies d'huile et au papier imprégné.....	104
9.5	Action corrective.....	104
10	Interprétation des résultats.....	105
11	Traitement et stockage.....	115
12	Remplacement de l'huile dans le matériel électrique.....	116
12.1	Remplacement de l'huile dans les transformateurs avec une tension $U_m$ inférieure à 72,5 kV et dans les appareillages de connexion et les matériels associés.....	116
12.2	Remplacement de l'huile dans les transformateurs avec une tension $U_m$ supérieure ou égale à 72,5 kV.....	117
12.3	Remplacement de l'huile dans le matériel électrique contaminé par les PCB.....	117
13	Ajout de passivants de métaux à l'huile en service.....	117
14	Traitement.....	117
14.1	Avertissement.....	117
14.2	Classification des procédés de traitement.....	119
14.2.1	Généralités.....	119
14.2.2	Traitement hors ligne (hors tension) ou traitement en ligne (sous tension).....	119
14.2.3	Traitement par lots <i>ou</i> en mode continu.....	119
14.3	Retraitement (dégazage, séchage et filtration).....	120
14.3.1	Généralités.....	120
14.3.2	Matériel de retraitement.....	121
14.3.3	Application aux matériels électriques.....	123
14.4	Régénération.....	124
14.4.1	Généralités.....	124
14.4.2	Régénération par percolation avec des sorbants à usage unique.....	125
14.4.3	Processus de régénération à l'aide de sorbants réactivants.....	126
14.4.4	Renouvellement des additifs.....	127
14.5	Élimination des PCB par déshalogénéation et procédés connexes.....	127
14.5.1	Généralités.....	127
14.5.2	Procédés de déshalogénéation qui utilisent des dérivés de sodium et de lithium.....	127
14.5.3	Procédés de déshalogénéation qui utilisent du polyéthylène glycol et de l'hydroxyde de potassium (KPEG).....	128
14.5.4	Déshalogénéation en mode continu par un procédé en circuit fermé.....	128
14.5.5	Élimination du soufre corrosif à l'aide de KPEG.....	128
14.6	Critères pour la régénération et les traitements des huiles.....	128
Annexe A (normative)	Critères pour la régénération et les traitements.....	129

A.1	Généralités .....	129
A.2	Paramètres clés à mesurer avant et après la régénération.....	129
A.3	Ajout d'un inhibiteur après régénération .....	131
A.4	Moment et emplacement de l'échantillonnage .....	131
Annexe B (informative) Ligne directrice générale relative à la saturation relative en humidité (%RS) pour la surveillance continue en ligne .....		132
Annexe C (informative) Normalisation de l'eau dans l'huile pour la comparaison et l'observation des tendances (pratique historique).....		133
C.1	Généralités .....	133
C.2	Température d'échantillonnage supérieure ou égale à 35 °C.....	133
Annexe D (informative) Compatibilité des matériaux .....		135
Annexe E (informative) Méthode d'essai pour la détermination des dépôts et des boues .....		137
E.1	Détermination des dépôts .....	137
E.2	Détermination des boues .....	137
Annexe F (informative) Contamination des huiles par du silicone .....		138
Bibliographie.....		139
Figure 1 – Courbes de solubilité dans l'eau d'une huile minérale neuve, d'après la référence [5] (selon la Formule (3)).....		87
Figure 2 – Boucles d'hystérésis du %RS en fonction de la température de l'huile dans des transformateurs avec 3 niveaux de teneur en eau différents [5].....		89
Figure 3 – Corrélacion entre la résistivité et le facteur de dissipation [6].....		90
Figure C.1 – Facteurs de normalisation selon la Formule (C.2) .....		134
Tableau 1 – Catégories de matériels.....		81
Tableau 2 – Essais des huiles minérales isolantes en service.....		83
Tableau 3 – Limites recommandées pour les huiles minérales isolantes après remplissage de matériels électriques neufs avant leur première mise sous tension sur site .....		99
Tableau 4 – Fréquences d'essais recommandées <sup>a</sup> .....		101
Tableau 5 – Transformateurs et bobines d'inductance – Application et interprétation des essais .....		105
Tableau 6 – Changeurs de prises – Application et interprétation des essais.....		111
Tableau 7 – Transformateurs de mesure et de protection – Application et interprétation des essais .....		112
Tableau 8 – Disjoncteurs et appareillages de connexion – Application et interprétation des essais .....		113
Tableau 9 – Traversées remplies d'huile et au papier imprégné – Application et interprétation des essais .....		114
Tableau 10 – Récapitulatif des actions types .....		115
Tableau 11 – Conditions de traitement des huiles minérales isolantes (inhibées et non inhibées).....		121
Tableau 12 – Rapport bêta lié à l'efficacité du filtre.....		122
Tableau A.1 – Paramètres pour lesquels il convient de fixer des limites.....		129
Tableau A.2 – Paramètres pour lesquels il ne convient pas nécessairement de fixer des limites, mais qu'il convient de mesurer à des fins de référence et d'observation des tendances .....		130
Tableau B.1 – Saturation relative en humidité (%RS), surveillance continue en ligne, ligne directrice générale.....		132

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

# HUILES MINÉRALES ISOLANTES DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES – LIGNES DIRECTRICES POUR LA MAINTENANCE ET LA SURVEILLANCE

## 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60422 a été établie par le comité d'études 10 de l'IEC: Fluides pour applications électrotechniques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette cinquième édition annule et remplace la quatrième édition parue en 2013. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) cette nouvelle édition constitue une révision majeure de la quatrième édition afin d'aligner le présent document sur les dernières évolutions en matière de surveillance de l'état de l'huile. De nouveaux tableaux d'interprétation ont été créés, qui contiennent des limites pour les paramètres de l'huile spécifiques au type d'installation, avec des actions correctives suggérées dans les tableaux et de nouvelles méthodes d'essais;
- b) les limites d'action pour tous les essais effectués sur les huiles ont été mises à jour et des modifications ont été apportées lorsque cela était nécessaire pour permettre aux utilisateurs d'employer la méthodologie courante et de se conformer aux exigences et aux règlements relatifs à la sécurité et aux aspects environnementaux;
- c) la catégorie O a été supprimée et est désormais intégrée à la catégorie A;
- d) l'interprétation en ligne de l'humidité est désormais intégrée;
- e) des recommandations supplémentaires sur le traitement de l'huile (y compris les critères de régénération) sont maintenant disponibles;
- f) les recommandations concernant le soufre corrosif ont été mises à jour;
- g) le présent document incorpore également les modifications introduites dans les normes associées depuis la publication de la quatrième édition.

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

Projet	Rapport de vote
10/1233/FDIS	10/1239/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.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

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](http://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](http://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](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'il contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.**

## INTRODUCTION

Les huiles minérales isolantes sont présentes dans les matériels électriques utilisés dans le cadre de la production, la transmission, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique.

La surveillance et l'entretien de la qualité des huiles sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement des matériels électriques immergés dans l'huile. À cette fin, des recueils d'instructions ont été établis par les autorités responsables de l'alimentation en électricité, les sociétés de distribution d'électricité et les industries dans de nombreux pays.

L'examen de l'expérience actuelle révèle une grande diversité dans les procédures et les recommandations. Cependant, il est possible de comparer la valeur et la signification des essais normalisés concernant les huiles et de recommander des critères uniformes pour l'évaluation des données d'essai.

Lorsqu'un certain niveau de détérioration de l'huile (par dégradation ou par contamination) est dépassé, les marges de sécurité sont inévitablement réduites et il convient de se poser la question du risque de défaillance. Même si l'évaluation de ce risque peut s'avérer très difficile, une première étape consiste à identifier les effets potentiels d'une dégradation accrue. La philosophie sous-jacente au présent document est de fournir aux utilisateurs des bases aussi larges que possible pour comprendre pourquoi la qualité des huiles se dégrade, afin qu'ils puissent prendre des décisions éclairées quant aux procédures d'examen et de maintenance.

Les huiles minérales sont des ressources précieuses, et il convient de les utiliser en conséquence. Les huiles minérales usagées sont considérées comme des déchets contrôlés par la plupart des réglementations. Si des déversements se produisent, ceux-ci peuvent avoir une incidence négative sur l'environnement, en particulier si l'huile est contaminée par des polluants organiques persistants tels que les polychlorobiphényles (PCB).

Le présent document, quoique techniquement valide, a été établi principalement pour servir de base commune à l'élaboration par les utilisateurs de codes de pratique plus complets et plus spécifiques, en tenant compte des circonstances locales. Des avis techniques sérieux doivent être établis pour définir le meilleur compromis entre les exigences techniques et les facteurs économiques.

Il convient aussi de se reporter aux instructions fournies par le fabricant du matériel.

### **Avertissement général**

Le présent document ne prétend pas couvrir tous les problèmes de sécurité liés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur du présent document d'établir, avant de l'utiliser, des pratiques d'hygiène et de sécurité appropriées et de déterminer l'applicabilité des restrictions réglementaires.

La manipulation des huiles minérales peut être soumise aux exigences réglementaires locales et aux fiches de données de sécurité des fournisseurs.

### **Environnement, santé et sécurité**

Le présent document s'applique aux huiles minérales, aux produits chimiques et aux conteneurs d'échantillons usagés. L'élimination de ces éléments peut être soumise à des exigences réglementaires locales pour réduire leur impact sur l'environnement.

L'attention est attirée sur le fait qu'au moment de la rédaction du présent document, quelques huiles minérales en service sont reconnues comme étant contaminées à un certain degré par d'autres liquides, par exemple des huiles de silicone et des PCB.



Pour cette raison, il convient de prendre des mesures de sécurité pour éviter des risques aux travailleurs, au public et à l'environnement pendant la durée de vie des matériels concernés, en contrôlant de manière stricte les fuites et les émissions. L'élimination ou la décontamination de ces huiles peut être soumise à des exigences réglementaires locales. Il convient de prendre toutes les précautions pour prévenir tout rejet d'huile minérale dans l'environnement.

En règle générale, chaque pays dispose de réglementations spécifiques en matière d'hygiène et de sécurité. Les fiches de données de sécurité (FDS) sont normalement utilisées par l'industrie à l'échelle internationale et sont généralement rédigées conformément à un ensemble de réglementations internationales (comme le REACH [1]<sup>1</sup>). Consulter les FDS des fournisseurs du produit isolant utilisé. Ces documents fournissent des informations essentielles en ce qui concerne l'hygiène, la sécurité et les impacts sur l'environnement.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

## **HUILES MINÉRALES ISOLANTES DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES – LIGNES DIRECTRICES POUR LA MAINTENANCE ET LA SURVEILLANCE**

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

Le présent document fournit des recommandations et des procédures de surveillance nécessaires pour l'utilisation et la maintenance des huiles minérales isolantes et d'autres liquides à base d'hydrocarbures dans les transformateurs et autres matériels électriques, y compris les pièces de rechange stratégiques et les cuves qui contiennent les pièces et composants de rechange.

Le présent document s'applique aux huiles minérales isolantes qui satisfont à l'origine aux exigences de l'IEC 60296 et sont présentes dans les transformateurs, appareillages de connexion et autres appareils électriques pour lesquels le prélèvement d'échantillons d'huile est raisonnablement possible et auxquels les conditions normales de fonctionnement prévues dans les spécifications du matériel s'appliquent.

Le présent document est également destiné à aider l'opérateur du matériel électrique à évaluer l'état de l'huile et à la maintenir en état d'être utilisée. Il fournit également une base commune à l'élaboration de codes de pratique locaux plus complets et plus spécifiques.

Le document inclut des recommandations sur les essais et les procédures d'évaluation et indique des procédés de retraitement et de régénération de l'huile ainsi que de décontamination de l'huile contaminée par les PCB.

NOTE La surveillance de l'état des matériels électriques, par exemple par l'analyse des gaz dissous et des dérivés furaniques, ou par tout autre moyen, ne fait pas partie du domaine d'application du présent document.

### **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 60156, *Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai*

IEC 60247, *Liquides isolants – Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique ( $\tan \delta$ ) et de la résistivité en courant continu*

IEC 60296:2020, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes pour matériel électrique,*

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

IEC 60666:2010, *Détection et dosage d'additifs spécifiques présents dans les huiles minérales isolantes*

IEC 60814, *Isolants liquides – Cartons et papiers imprégnés d'huile – Détermination de la teneur en eau par titrage coulométrique de Karl Fischer automatique*

IEC 60970, *Isolants liquides – Méthodes de détermination du nombre et de la taille des particules*

IEC 61125:2018, *Isolants liquides – Méthodes d'essai de la stabilité à l'oxydation – Méthode d'essai pour évaluer la stabilité à l'oxydation des isolants liquides tels que livrés*

IEC 61619, *Isolants liquides – Contamination par les polychlorobiphényles (PCB) – Méthode de détermination par chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire*

IEC 62021-1, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 1: Titrage potentiométrique automatique*

IEC 62021-2, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 2: Titrage colorimétrique*

IEC 62535:2008, *Liquides isolants – Méthode d'essai pour la détection du soufre potentiellement corrosif dans les huiles usagées et neuves*

IEC 62697-1, *Méthodes d'essai pour la détermination quantitative des composés de soufre corrosif dans les liquides isolants usagés et neufs – Partie 1: Méthode d'essai pour la détermination quantitative du disulfure de dibenzyle (DBDS)*

IEC 62961, *Isolants liquides – Méthodes d'essai pour la détermination de la tension interfaciale des isolants liquides – Détermination par la méthode à l'anneau*

ISO 2049, *Produits pétroliers – Détermination de la couleur (échelle ASTM)*

ISO 2719, *Détermination du point d'éclair – Méthode Pensky-Martens en vase clos*

ISO 3016, *Produits pétroliers et connexes d'origine naturelle ou synthétique – Détermination du point d'écoulement*

ISO 3104, *Produits pétroliers – Liquides opaques et transparents – Détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique*

ISO 3675, *Pétrole brut et produits pétroliers liquides – Détermination en laboratoire de la masse volumique – Méthode à l'aréomètre*

ISO 6247, *Produits pétroliers – Détermination des caractéristiques de moussage des huiles lubrifiantes*

ISO 9120, *Pétroles et produits connexes – Détermination de l'aptitude à la désaération des huiles pour turbine à vapeur et autres huiles – Méthode Impinger*

ISO 12185, *Pétroles bruts et produits pétroliers – Détermination de la masse volumique – Méthode du tube en U oscillant*

ASTM D971, *Standard Test Method for Interfacial Tension of Insulating Liquids Against Water by the Ring Method*

ASTM D7042, *Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity)*

DIN 51353, *Testing of insulating oils – Detection of corrosive sulphur – Silver strip test*