

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
422**

Deuxième édition
Second edition
1989-04

**Guide de maintenance et de surveillance
des huiles minérales isolantes en service
dans les matériels électriques**

**Supervision and maintenance guide for
mineral insulating oils in electrical equipment**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 422: 1989

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 littéraux

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

- la CEI 27: *Symboles littéraux 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
422**

Deuxième édition
Second edition
1989-04

**Guide de maintenance et de surveillance
des huiles minérales isolantes en service
dans les matériels électriques**

**Supervision and maintenance guide for
mineral insulating oils in electrical equipment**

© CEI 1989 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

W

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

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE	4
PREFACE	4
Articles	
1. Introduction	8
2. Domaine d'application	10
3. Propriétés et dégradation de l'huile	10
4. Essais des huiles et leur signification	12
5. Echantillonnage de l'huile dans les matériels	22
6. Catégories de matériels	24
7. Evaluation de l'huile minérale isolante dans les matériels à l'état neuf	26
8. Evaluation de l'huile usagée	28
8.1 Fréquence des examens de l'huile en service	28
8.2 Procédures d'essais	30
8.3 Classification des huiles en service	32
8.4 Mesures correctrices	34
9. Compatibilité mutuelle des huiles minérales isolantes	34
10. Manutention et stockage	36
11. Traitement	38
11.1 Retraitement	38
11.2 Régénération	44
11.3 Reraffinage	44
12. Remplacement de l'huile	44
13. Mesures d'hygiène et protection de l'environnement	46
TABLEAUX	48
ANNEXE A - Détermination des dépôts et sédiments	58
ANNEXE B - Conseils généraux pour la régénération des huiles	60

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Introduction	9
2. Scope	11
3. Properties and deterioration of oil	11
4. Oil tests and their significance	13
5. Sampling of oil from equipment	23
6. Categories of equipment	25
7. Evaluation of mineral insulating oil in new equipment	27
8. Evaluation of used oil	29
8.1 Frequency of examination of oils in service	29
8.2 Testing procedures	31
8.3 Classification of oils in service	33
8.4 Corrective action	35
9. Mutual compatibility of mineral insulating oils	35
10. Handling and storage	37
11. Treatment	39
11.1 Reconditioning	39
11.2 Reclaiming	45
11.3 Re-refining	45
12. Replacement of oil	45
13. Hygiene and environmental precautions	47
TABLES	49
APPENDIX A - Determination of sediment and sludge	59
APPENDIX B - General guidance for oil reclaiming	61

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE DE MAINTENANCE ET DE SURVEILLANCE DES HUILES MINERALES ISOLANTES EN SERVICE DANS LES MATERIELS ELECTRIQUES

PREAMBULE

- 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.

PREFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 10A: Huiles isolantes à base d'hydrocarbures, du Comité d'Etudes n° 10 de la CEI: Fluides pour applications électrotechniques.

(Le Sous-Comité 10A a été remplacé par le Comité d'Etudes n° 10 de la CEI.)

Cette deuxième édition de la Publication 422 remplace la première édition, parue en 1973.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
10A(BC)69	10(BC)249

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne 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 n^{os} 74 (1963): Méthode pour évaluer la stabilité à l'oxydation des huiles isolantes.
- 156 (1963): Méthode pour la détermination de la rigidité électrique des huiles isolantes.
- 247 (1978): Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique et de la résistivité (en courant continu) des liquides isolants.
- 296 (1982): Spécification des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERVISION AND MAINTENANCE GUIDE FOR MINERAL
INSULATING OILS IN ELECTRICAL EQUIPMENT

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 Sub-Committee 10A: Hydrocarbon insulating oils, of IEC Technical Committee No. 10: Fluids for electro-technical applications.

(Sub-Committee 10A has been replaced by IEC Technical Committee No. 10.)

This second edition of Publication 422 replaces the first edition, published in 1973.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
10A(C0)69	10(C0)249

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 74 (1963): Method for assessing the oxidation stability of insulating oils.
- 156 (1963): Method for the determination of the electric strength of insulating oils.
- 247 (1978): Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor and d.c. resistivity of insulating liquids.
- 296 (1982): Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switch-gear.

- 474 (1974): Méthode d'essai pour la stabilité à l'oxydation des huiles minérales isolantes inhibées.
- 475 (1974): Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides.
- 567 (1977): Guide pour le prélèvement des gaz et de l'huile dans le matériel électrique rempli d'huile et pour l'analyse des gaz libres et dissous.
- 599 (1978): Interprétation de l'analyse des gaz dans les transformateurs et autres matériels électriques remplis d'huile, en service.
- 666 (1979): Détection et dosage d'additifs antioxydants spécifiques présents dans les huiles isolantes.
- 733 (1982): Dosage de l'eau dans les huiles isolantes, dans les papiers et cartons imprégnés d'huile.
- 813 (1985): Méthode d'essai pour évaluer la stabilité à l'oxydation des diélectriques liquides à base d'hydrocarbures.
- 814 (1985): Dosage de l'eau dans les diélectriques liquides par titrage coulométrique de Karl Fischer automatique.

Autres publications citées:

- Normes ISO 2049 (1972): Produits pétroliers - Détermination de la couleur.
- 2719 (1973): Produits pétroliers - Détermination du point d'éclair - Méthode Pensky-Martens en vase clos.
- 3016 (1974): Huiles de pétrole - Détermination du point d'écoulement.
- 3104 (1976): Produits pétroliers - Liquides opaques et transparents - Détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique.
- 3675 (1976): Pétroles bruts et produits pétroliers liquides - Détermination en laboratoire de la masse volumique ou de la densité relative - Méthode à l'aréomètre.
- 4793 (1980): Filtres frittés de laboratoire - Echelle de porosité - Classification et désignation.
- 6295 (1983): Produits pétroliers - Huiles minérales - Détermination de la tension interfaciale entre huile et eau - Méthode de l'anneau.

- 474 (1974): Test method for oxidation stability of inhibited mineral insulating oils.
- 475 (1974): Method of sampling liquid dielectrics.
- 567 (1977): Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases.
- 599 (1978): Interpretation of the analysis of gases in transformers and other oil-filled electrical equipment in service.
- 666 (1979): Detection and determination of specified anti-oxidant additives in insulating oils.
- 733 (1982): Determination of water in insulating oils, and in oil-impregnated paper and pressboard.
- 813 (1985): Test method for evaluating the oxidation stability of hydrocarbon insulating liquids.
- 814 (1985): Determination of water in insulating liquids by automatic coulometric Karl Fischer titration.

Other publications quoted:

- ISO standards 2049 (1972): Petroleum products - Determination of colour.
- 2719 (1973): Petroleum products - Determination of flash point - Pensky-Martens closed cup method.
- 3016 (1974): Petroleum oils - Determination of pour point.
- 3104 (1976): Petroleum products - Transparent and opaque liquids - Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity.
- 3675 (1976): Crude petroleum and liquid petroleum products - Laboratory determination of density or relative density - Hydrometer method.
- 4793 (1980): Laboratory sintered (fritted) filters - Porosity grading, classification and designation.
- 6295 (1983): Petroleum products - Mineral oils - Determination of interfacial tension of oil against water - Ring method.

GUIDE DE MAINTENANCE ET DE SURVEILLANCE DES HUILES MINÉRALES ISOLANTES EN SERVICE DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

1. Introduction

La surveillance et le maintien de la qualité de l'huile sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement des matériels électriques immergés. Dans plusieurs pays, les groupements de constructeurs ainsi que les sociétés productrices d'électricité ont établi, à cette fin, des codes de bonne pratique.

L'examen de l'expérience actuelle révèle une grande diversité des procédures et des critères utilisés. Cependant, il est possible de comparer la valeur et la signification des divers essais d'huile normalisés pour conseiller des critères uniformes d'évaluation des résultats d'essais.

Les difficultés sont beaucoup plus grandes pour décider de la fréquence des essais et des niveaux limites acceptables de dégradation de l'huile isolante dans toutes ses applications, compte tenu des différences d'exploitation, de fiabilité exigée et du type de matériel. Par exemple, les grandes sociétés productrices d'électricité considèrent qu'il n'est pas économique d'appliquer intégralement ces recommandations aux transformateurs de distribution et ont donc tendance à accepter un risque plus élevé de défaillances. Au contraire, l'utilisateur industriel, dont les activités dépendent de la sûreté de fonctionnement de son alimentation en énergie électrique, souhaite appliquer une surveillance plus fréquente et plus sévère de la qualité de l'huile pour se prémunir de pannes d'électricité.

Lorsqu'un certain niveau de dégradation de l'huile est dépassé, les marges de sécurité sont réduites et la question doit se poser du risque d'une défaillance prématurée. Bien que l'évaluation de ce risque soit très difficile, une première étape consiste à identifier les effets potentiels d'une dégradation accrue. La philosophie sous-jacente au présent guide est de fournir aux utilisateurs une base aussi large que possible de compréhension de la dégradation de la qualité des huiles, de sorte qu'ils puissent prendre, en connaissance de cause, les décisions reposant sur les procédures d'entretien.

Les règles figurant dans les articles suivants, quoique techniquement valides, ont été établies principalement pour servir de base à l'élaboration de guides plus complets et plus spécifiques, compte tenu des circonstances locales. Des avis techniques sérieux doivent être exprimés pour établir le meilleur compromis entre les exigences techniques et les facteurs économiques.

Il convient aussi de se reporter aux instructions fournies par le constructeur.

SUPERVISION AND MAINTENANCE GUIDE FOR MINERAL INSULATING OILS IN ELECTRICAL EQUIPMENT

1. Introduction

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

A review of current experience reveals a wide variation of procedures and criteria. 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.

Much greater difficulties exist in deciding frequency of testing and permissible oil degradation levels which are acceptable for all applications of insulating oil in relation to differences in operating policies, reliability requirements and type of electrical system. For example, large power companies will normally find uneconomical the full application of these recommendations to distribution transformers and tend to accept a higher failure risk. Conversely, the industrial user whose activities depend on the reliability of his power supply, may wish to institute more frequent and stricter controls of oil quality as a means of guarding against power failures.

If a certain amount of oil deterioration is exceeded, there is some erosion on safety margins and the question of the risk of premature failure must be considered. While the quantification of the risk may be very difficult, a first step involves the identification of potential effects of increased deterioration. The philosophy underlying this guide 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 maintenance practices.

The guidelines given in the following clauses, while technically sound, are mainly intended to serve as a common basis for the preparation of more specific and complete codes 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.

2. Domaine d'application

Le présent guide concerne les huiles minérales isolantes, satisfaisant à l'origine aux exigences de la CEI 296 et utilisées dans les transformateurs, l'appareillage de connexion et les appareils électriques semblables, pour lesquels la prise d'échantillon d'huile est possible, et lorsque les conditions normales d'exploitation prévues dans les spécifications du matériel sont appliquées.

Ce guide a aussi pour but d'aider le personnel d'exploitation à évaluer l'état de l'huile des matériels et de l'assister dans sa tâche de conserver l'huile en condition de service. Pour cela, ce guide recommande des essais normalisés, des procédures d'évaluation et des éléments de procédés de retraitement et de régénération de l'huile lorsque cela se révèle nécessaire.

Note.- Il est établi que, dans certains types de matériels, l'huile peut contenir des gaz dissous dont l'analyse peut être utile afin d'évaluer l'état de l'isolation. Ce sujet n'est pas couvert par le présent guide; le lecteur éventuellement intéressé peut se référer aux CEI 567 et 599.

3. Propriétés et dégradation de l'huile

L'utilisation en toute confiance d'une huile minérale isolante dans un système d'isolation dépend de certaines de ses caractéristiques fondamentales, qui peuvent affecter le fonctionnement global du matériel électrique.

Afin d'assurer ses fonctions multiples de diélectrique, d'agent caloporteur et d'extincteur d'arc, l'huile doit posséder certaines propriétés fondamentales, en particulier:

- une rigidité électrique élevée, afin de tenir les contraintes électriques en service;
- une viscosité suffisamment faible pour ne pas freiner la circulation ni diminuer le transfert de chaleur;
- des propriétés d'écoulement à basses températures appropriées et pour les conditions climatiques les plus basses susceptibles d'exister sur le lieu d'installation;
- une résistance à l'oxydation convenable, afin d'assurer une longue durée de service.

La dégradation de l'huile minérale en service est due aux conditions d'utilisation. Dans de nombreuses applications, l'huile isolante est en contact avec de l'air et est ainsi soumise à des réactions d'oxydation qui sont accélérées à des températures élevées, la présence de métaux, de dérivés organo-métalliques ou les deux agissant comme promoteurs d'oxydation.

Il peut se produire un changement de couleur, une formation de produits acides et, à un stade d'oxydation avancé, une précipitation de dépôts. Les propriétés diélectriques peuvent en être affectées.

2. Scope

This guide applies to mineral insulating oils, originally complying with the requirements of IEC 296, in transformers, switchgear and similar electrical apparatus where oil sampling is practicable and where the normal operating conditions specified in the equipment specifications apply.

The purpose of this guide is to assist the power equipment operator in evaluating the condition of oil in equipment and in his efforts to maintain oil in serviceable condition. To this end, the guide recommends standardized tests and evaluation procedures and outlines methods for reconditioning and reclaiming oil whenever necessary.

Note.- It is recognized that the oil in certain types of equipment may contain dissolved gases, the analysis of which may be useful in assessing the condition of the insulation system. It is not the intent of this guide to cover this subject. The interested reader is referred to IEC 567 and 599.

3. Properties and deterioration of oil

The reliable performance of mineral insulating oil in an insulation system depends upon certain basic oil characteristics which can affect the overall performance of the electrical equipment.

In order to accomplish its multiple role of dielectric, heat-transfer agent and arc-quencher, the oil must possess certain basic properties, in particular:

- high electric strength to withstand the electric stresses imposed in service;
- sufficiently low viscosity so that its ability to circulate and transfer heat is not impaired;
- adequate low-temperature properties down to the extreme of climatic conditions expected at the installation site;
- proper oxidation resistance to ensure long life in service.

Mineral oil in service is subject to deterioration due to the conditions of use. In many applications, insulating oil is in contact with air and therefore subject to oxidation reactions accelerated by elevated temperature and the presence of metals, organo-metallic compounds or both acting as oxidation promoters.

Change in colour, formation of acid compounds and, at an advanced stage of oxidation, separation of sludge may occur. Dielectric properties may be impaired.

En plus des produits d'oxydation, d'autres agents contaminants - l'eau, des particules solides, des produits polaires solubles - peuvent apparaître dans l'huile en service et altérer ses propriétés.

La présence de ces agents contaminants et de tout produit de dégradation de l'huile se traduit par la modification d'une ou de plusieurs propriétés, comme traité dans l'article suivant.

La dégradation d'autres matériaux de construction, pouvant affecter le bon fonctionnement des matériels électriques et diminuer leur durée de fonctionnement, peut également se traduire par des modifications des propriétés de l'huile.

4. Essais des huiles et leur signification

Les huiles livrées dans le matériel neuf ou prélevées dans le matériel en service peuvent être soumises à un grand nombre d'essais; cependant, les essais suivants sont considérés comme suffisants pour déterminer si oui ou non l'état de l'huile permet la poursuite de l'exploitation ou pour proposer un type d'intervention appropriée.

Propriété	Méthode
Couleur et aspect	ISO 2049 / CEI 296
Tension de claquage	CEI 156
Teneur en eau	CEI 814 ou CEI 733
Indice de neutralisation	CEI 296
Dépôts et sédiments	Annexe A
Facteur de dissipation diélectrique et résistivité	CEI 247
* Tension interfaciale	ISO 6295
* Stabilité à l'oxydation	soit CEI 74, soit CEI 474, soit CEI 813, suivant l'application
* Teneur totale en gaz	CEI 567
* Point d'éclair	ISO 2719
** Point d'écoulement	ISO 3016
** Masse volumique	ISO 3675
** Viscosité	ISO 3104
*** Teneur en inhibiteur	CEI 666

Remarque: Voir la note de l'article 2.

* Dans des circonstances particulières seulement.

** N'est pas essentielle, mais peut être utilisée pour l'identification.

*** Limitée aux huiles inhibées.

In addition to oxidation products, many other contaminants - water, solid particles and oil-soluble polar compounds - may accumulate in the oil during service and alter its properties.

The presence of these contaminants and any kind of deterioration of an oil is made evident by change of one or more properties as discussed in the following clause.

Deterioration of other constructional materials, which may interfere with the proper functioning of the electrical equipment and shorten its working life, may also be indicated by changes in oil properties.

4. Oil tests and their significance

There are a large number of tests that can be applied to oil delivered in equipment or oil from equipment in service but the following tests are believed to be sufficient to determine whether the oil condition is adequate for continued operation and to suggest the type of corrective action required.

Property	Method
Colour and appearance	ISO 2049 / IEC 296
Breakdown voltage	IEC 156
Water content	IEC 814 or IEC 733
Neutralization value	IEC 296
Sediment and sludge	Appendix A
Dielectric dissipation factor and resistivity	IEC 247
* Interfacial tension	ISO 6295
* Oxidation stability	either IEC 74, or IEC 474, or IEC 813, as applicable
* Total gas content	IEC 567
* Flash-point	ISO 2719
** Pour-point	ISO 3016
** Density	ISO 3675
** Viscosity	ISO 3104
*** Inhibitor content	IEC 666

Remark: See Note to Clause 2.

* Only under special circumstances.

** Not essential, but can be used to establish type identification.

*** Restricted to inhibited oils.

4.1 Couleur et aspect

La couleur d'une huile isolante est déterminée en lumière transmise et est exprimée par un nombre obtenu par comparaison avec une série de couleurs normalisées. Il ne s'agit pas d'une propriété importante, mais elle est très utile à des fins de comparaison. Un indice de couleur élevé ou évoluant rapidement peut indiquer une dégradation ou une contamination de l'huile.

Outre la couleur, l'aspect d'une huile peut mettre en évidence de la turbidité ou des sédiments, indice d'une présence d'eau libre, de dépôts insolubles, de carbone, de fibres, de poussières, etc.

4.2 Tension de claquage

La tension de claquage est importante en tant que mesure de l'aptitude d'une huile à résister aux contraintes électriques.

Une huile sèche et propre est caractérisée par une tension de claquage élevée inhérente. L'eau libre et les particules solides, ces dernières en particulier lorsqu'elles sont associées à des teneurs en eau dissoute élevées, ont tendance à migrer vers des régions à fortes contraintes électriques et à réduire sévèrement la tension de claquage. Par conséquent, la mesure de la tension de claquage sert, en premier lieu, à indiquer la présence d'agents contaminants tels que l'eau ou les particules conductrices, dont l'un des deux ou d'autres pouvant être présents avant les essais donnent de faibles valeurs de la tension de claquage. Cependant, une tension de claquage élevée ne constitue pas un indice formel de l'absence d'agents contaminants.

4.3 Teneur en eau

L'eau peut provenir de l'air atmosphérique ou résulter de la dégradation de matériaux isolants. Pour des teneurs en eau relativement faibles, l'eau reste en solution et ne modifie pas l'aspect de l'huile; c'est pourquoi il faut détecter l'eau dissoute par des méthodes chimiques ou physiques.

L'eau dissoute peut ou non affecter les propriétés électriques de l'huile. La solubilité de l'eau dans l'huile de transformateur augmente en fonction de la température et de l'indice de neutralisation (voir figure 1). Lorsque la teneur en eau dépasse un certain seuil (valeur de saturation), elle ne peut rester en solution et de l'eau libre apparaît sous forme de turbidité ou de gouttelettes d'eau; l'eau libre provoque, invariablement, une diminution de la tension de claquage et de la résistivité et une augmentation du facteur de dissipation diélectrique.

Dans un transformateur, la quantité totale d'eau se répartit entre le papier et l'huile dans un rapport prédominant pour le papier. De faibles variations de température modifient sensiblement la teneur en eau de l'huile mais très peu celle du papier.

Connaissant la teneur en eau d'une huile et pour une température donnée, au moyen de graphiques disponibles dans la littérature, il est possible d'obtenir la teneur en eau du papier en supposant que les conditions d'équilibre sont réalisées. Les valeurs limites conseillées dans le tableau 2 sont fixées pour correspondre à des valeurs de la teneur en eau dans l'isolation cellulosique acceptables et elles sont rapportées aux températures normales de l'huile en service de 40 °C à 60 °C.

4.1 *Colour and appearance*

The colour of an insulating oil is determined in transmitted light and is expressed by a numerical value based on comparison with a series of colour standards. It is not a critical property, but it is quite useful for comparative evaluation. A rapidly increasing or a high colour number may be an indication of oil deterioration or contamination.

Besides colour, the appearance of oil may show cloudiness or sediments which may indicate the presence of free water, insoluble sludge, carbon, fibres, dirt, etc.

4.2 *Breakdown voltage*

The breakdown voltage is of importance as a measure of the suitability of an oil to withstand electric stress.

Dry and clean oil exhibits an inherently high breakdown voltage. Free water and solid particles, the latter particularly in combination with high levels of dissolved water, tend to migrate to regions of high electric stress and reduce breakdown voltage dramatically. The measurement of breakdown voltage, therefore, serves primarily to indicate the presence of contaminants such as water or conducting particles, one or more of which can be present when low breakdown values are found by test. However, a high breakdown voltage does not indicate the absence of all contaminants.

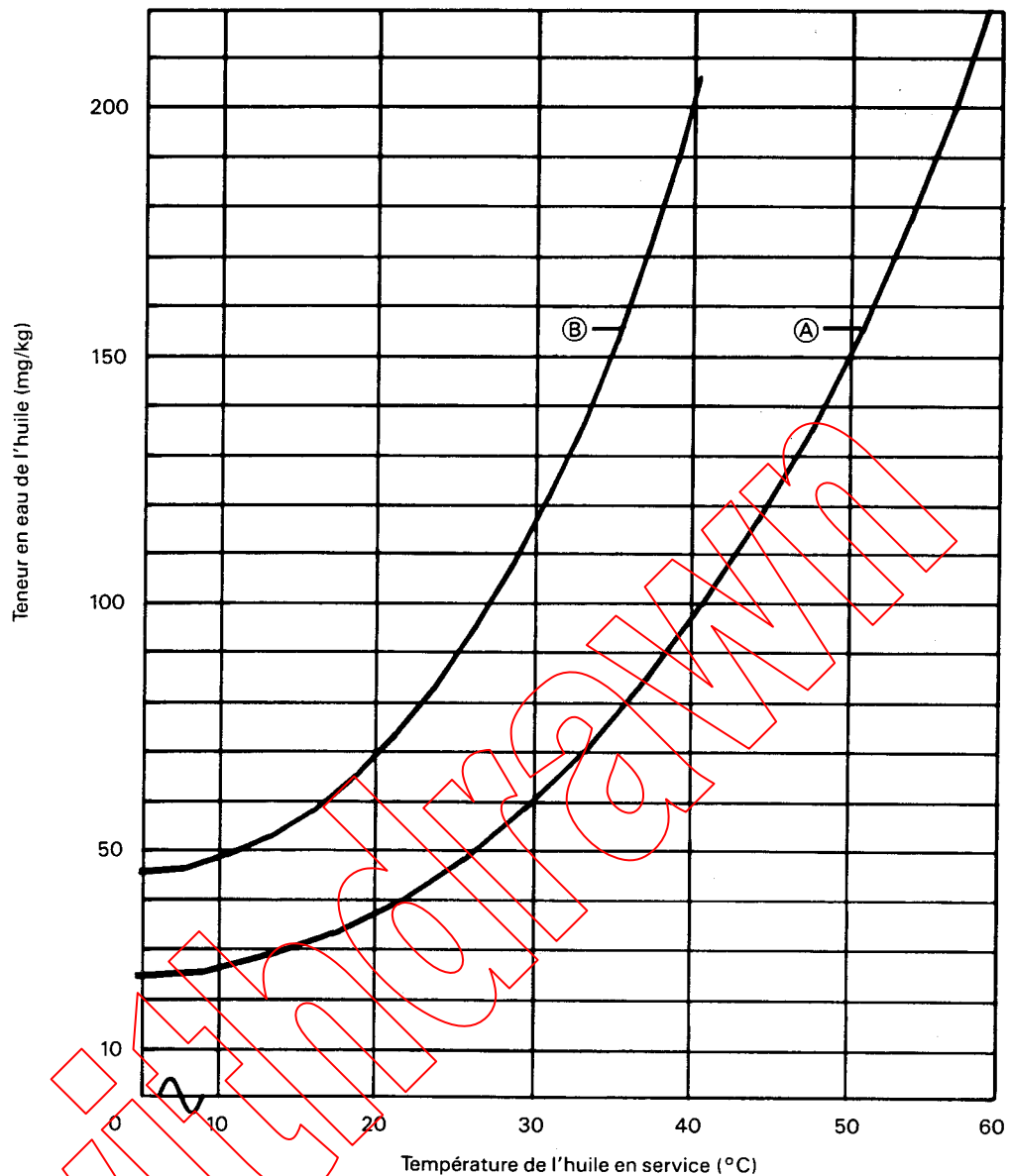
4.3 *Water content*

Water may originate from the atmosphere or be produced by the deterioration of insulating materials. At comparatively low water content, the water remains in solution and does not alter the appearance of the oil; dissolved water shall therefore be detected by chemical or physical methods.

Dissolved water may or may not affect the electrical properties of the oil. The solubility of water in transformer oil increases with increasing temperature and neutralization value (see Figure 1). Above a certain water content (the saturation water content), all the water cannot remain in solution and free water may be seen in the form of cloudiness or water droplets; free water invariably results in decreased electrical strength and resistivity and increased dielectric dissipation factor.

In a transformer the total water content is distributed between the paper and the oil in a ratio that is predominantly in favour of the paper. Small changes in temperature significantly modify the water content of the oil but only slightly that of the paper.

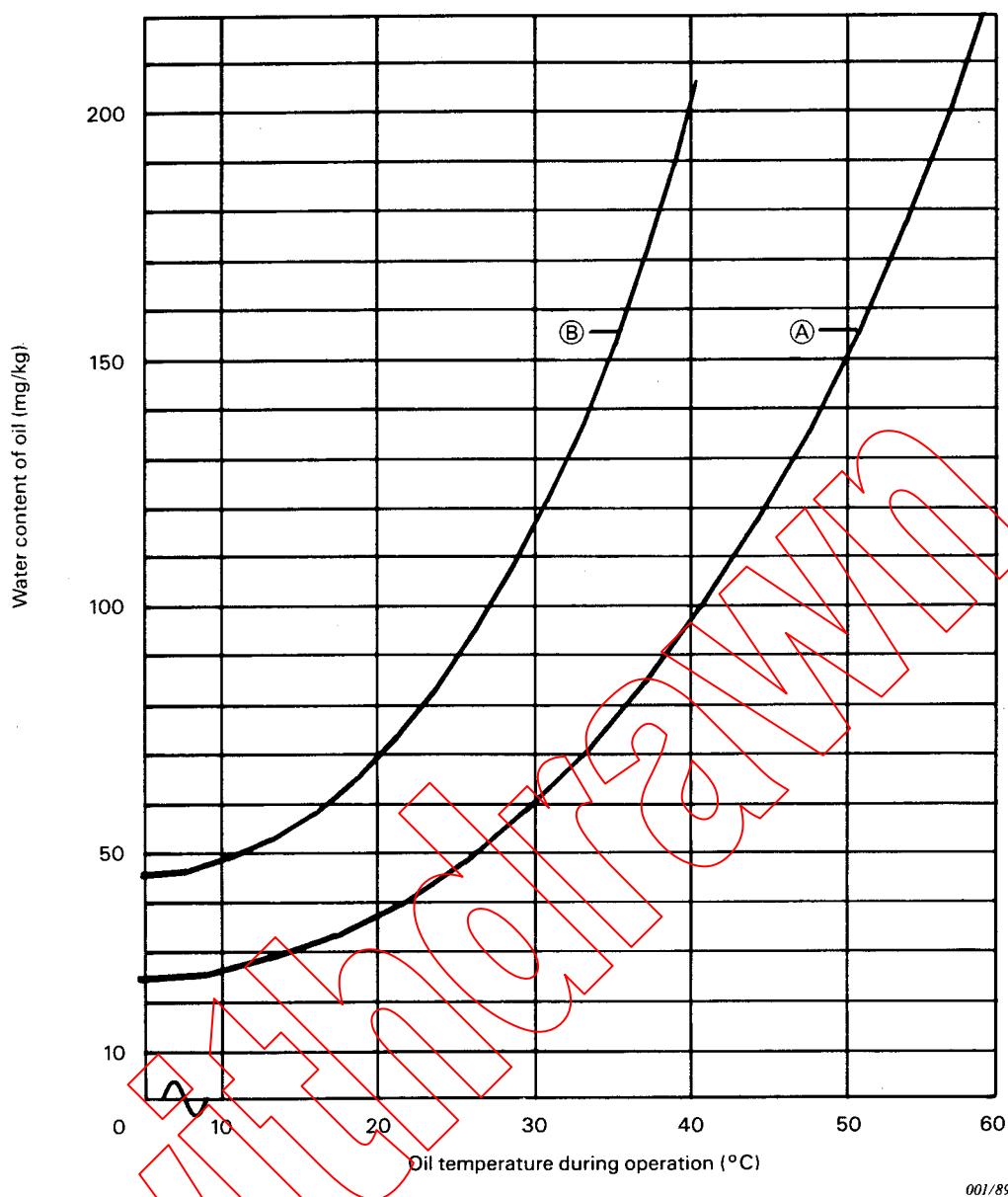
Using graphs which may be found in the literature, it is possible to obtain at a given temperature the water content of the paper from the measured water content of the oil assuming equilibrium conditions. The limiting values for water content which are recommended in Table 2 are intended to control the water content in cellulosic insulation within acceptable values and are related to normal operating oil temperatures over 40 °C to 60 °C.



001/89

Courbe A: Teneur en eau à saturation d'une huile neuve
 Courbe B: Teneur en eau à saturation d'une huile oxydée
 ayant un indice de neutralisation de 0,3 mg
 KOH/g.

Fig. 1. - Exemple de variation, en fonction de la température, de la teneur en eau à saturation d'une huile CEI 296.



Curve A: Saturation content of water in unused oil
Curve B: Saturation content of water in oxidized oil
with neutralization value of 0,3 mg KOH/g.

Fig. 1. - Example of the variation of saturation content of water of IEC 296 insulating oil with oil temperature.

Une forte teneur en eau favorise la dégradation chimique du papier isolant et caractérise de mauvaises conditions de fonctionnement ou d'entretien qui nécessitent des mesures correctrices.

4.4 *Indice de neutralisation*

L'indice de neutralisation d'une huile est une mesure des constituants ou agents contaminants acides dans l'huile.

Sa valeur, négligeable pour une huile neuve, croît à la suite du vieillissement par oxydation et est utilisée comme indice général permettant de déterminer le moment où il convient de la remplacer ou de la régénérer, pourvu que des limites appropriées de rejet soient choisies et que d'autres essais le confirment.

4.5 *Sédiments et dépôts*

Cet essai permet de distinguer les sédiments de l'ensemble des dépôts (c'est-à-dire dépôts insolubles dans l'huile, plus dépôts précipitables par l'heptane).

Les matières solides comprennent les produits de dégradation ou d'oxydation insolubles des matériaux isolants solides ou liquides, des fibres d'origines diverses, du carbone, des oxydes métalliques, etc., résultant des conditions d'exploitation du matériel. La présence de particules solides peut diminuer la rigidité électrique de l'huile et, en outre, les dépôts peuvent limiter les échanges thermiques, donc favoriser une dégradation accrue de l'isolation.

Les dépôts sont constitués de produits formés à un stade d'oxydation avancé et sont un avertissement de l'accumulation de dépôts dans le matériel.

4.6 *Facteur de dissipation diélectrique (FDD) et/ou résistivité*

Ces caractéristiques sont très sensibles à la présence dans l'huile de substances polaires solubles, de produits de vieillissement ou de substances colloïdales. Leurs variations peuvent être détectées même pour de faibles contaminations que les méthodes chimiques ne peuvent détecter.

Les limites acceptables pour ces caractéristiques dépendent largement du type de matériel et du type d'application. Cependant, des valeurs élevées du facteur de dissipation modifient le facteur de puissance et/ou la résistance d'isolement des enroulements du transformateur.

Généralement, il existe une relation entre le FDD et la résistivité. Aux températures élevées, la résistivité diminue alors que le FDD augmente. Il n'est normalement pas exigé d'effectuer les deux essais avec la même huile.

Des informations supplémentaires utiles peuvent être obtenues en mesurant la résistivité ou le FDD à température ambiante et à une température plus élevée, telle que 90 °C. Un résultat satisfaisant obtenu à 90 °C, associé à un résultat insuffisant obtenu à plus basse température, est l'indice de présence d'eau ou de produits de dégradation précipitables à froid, mais à concentration généralement acceptable. Des résultats insuffisants obtenus aux deux températures sont l'indice d'une contamination plus importante et qu'un retraitement ne permettra pas de remettre en état l'huile à un niveau acceptable.

High water content accelerates the chemical deterioration of insulating paper and is indicative of undesirable operating conditions or maintenance requiring correction.

4.4 *Neutralization value*

The neutralization value of an oil is a measure of the acidic constituents or contaminants in the oil.

Its value, negligible in an unused oil, increases as a result of oxidative ageing and is used as a general guide for determining when an oil should be replaced or reclaimed, provided suitable rejection limits have been established and confirmation is received from other tests.

4.5 *Sediment and sludge*

This test distinguishes between sediment and total sludge (i.e. oil insoluble sludge plus sludge which is precipitated by adding heptane).

Solid matter comprises insoluble oxidation or degradation products of solid or liquid insulating materials, fibres of various origins, carbon, metallic oxides, etc., arising from the conditions of service of the equipment. The presence of solid particles may reduce the electric strength of the oil and, in addition, deposits may hinder heat exchange, thus promoting further deterioration of insulation.

Sludge consists of products formed at an advanced stage of oxidation and is a forewarning of sludge deposits in the equipment.

4.6 *Dielectric Dissipation Factor (DDF) and/or resistivity*

These characteristics are very sensitive to the presence in the oil of soluble polar contaminants, ageing products or colloids. Changes may be monitored even when contamination is so slight as to be undetectable by chemical methods.

Acceptable limits for these characteristics depend largely upon the type of apparatus and application. However, high values of dissipation factor may influence the power factor and/or the insulation resistance of transformer windings.

There is generally a relationship between DDF and resistivity at elevated temperature with resistivity decreasing as DDF increases. It is normally not required to conduct both tests on the same oil.

Useful additional information can be obtained by measuring resistivity or DDF at both ambient temperature and a higher temperature such as 90 °C. A satisfactory result at 90 °C coupled with an unsatisfactory value at the lower temperature is an indication of the presence of water or degradation products precipitable in the cold but generally at a tolerable level. Unsatisfactory results at both temperatures indicate a greater extent of contamination and that it may not be possible to restore the oil to a satisfactory level by reconditioning.

4.7 *Tension interfaciale*

La tension interfaciale entre l'huile et l'eau permet de détecter les agents contaminants polaires solubles et les produits de dégradation. Cette caractéristique évolue assez rapidement au cours des premiers stades du vieillissement, puis l'évolution se stabilise, alors que la dégradation est encore modérée. C'est pour cette raison que les résultats sont assez difficiles à interpréter en termes d'entretien de l'huile. Cependant, il convient d'examiner de plus près les huiles dont les valeurs de la tension interfaciale se trouvent à la valeur limite minimale recommandée au tableau 2 ou se rapprochent de celle-ci.

4.8 *Teneur en gaz totale*

Dans la plupart des utilisations de l'huile minérale isolante, la détermination de la teneur totale en gaz dissous présente peu d'intérêt pour évaluer la qualité et le bon usage de l'huile. Cependant, pour certains types de matériels à THT, une teneur maximale en gaz est parfois spécifiée lors du remplissage de l'appareillage ou en service.

L'analyse des gaz dissous dans l'huile pour la détection de défauts naissants est traitée dans les CEI 567 et 599.

4.9 *Point d'éclair*

Un point d'éclair bas est l'indice de la présence de substances volatiles combustibles dans l'huile.

L'exposition prolongée de l'huile à de hautes températures, dans des conditions de défaut prolongées, peut produire des quantités suffisantes d'hydrocarbures de faible masse moléculaire pouvant abaisser le point d'éclair de l'huile.

4.10 *Point d'écoulement*

Le point d'écoulement est une mesure de la fluidité de l'huile à basse température. Il n'y a pas de preuves certaines qui puissent suggérer que cette propriété est affectée par la dégradation de l'huile. Des variations du point d'écoulement peuvent normalement indiquer que des ajouts ont été effectués avec une huile de qualité différente.

4.11 *Masse volumique*

La masse volumique n'est pas un facteur essentiel pour définir la qualité d'une huile, mais peut être utile pour identifier le type d'huile ou détecter des modifications importantes de sa composition. Dans les climats froids, la masse volumique peut être appropriée pour la détermination du bon emploi de l'huile: par exemple, des cristaux de glace formés à partir d'eau non dissoute peuvent flotter à la surface de l'huile de masse volumique élevée et être à l'origine de décharges lors de la fusion.

4.12 *Viscosité*

La viscosité est un facteur régissant l'évacuation de la chaleur. Le vieillissement et l'oxydation de l'huile ont tendance à accroître la viscosité, cependant, l'effet n'est pas perceptible aux niveaux de détérioration considérés dans ce guide. Les mesures de viscosité peuvent être utiles pour l'identification du type d'huile.

4.7 *Interfacial tension*

The interfacial tension between oil and water provides a means of detecting soluble polar contaminants and products of deterioration. This characteristic changes fairly rapidly during the initial stages of ageing but levels off when deterioration is still moderate. For this reason, results are rather difficult to interpret in terms of oil maintenance. However, oils with interfacial tension values at or near the minimum limit value specified in Table 2 should be further investigated.

4.8 *Total gas content*

For most applications of mineral insulating oil, the determination of total dissolved gas content normally has little significance for assessing the quality and serviceability of the oil. However, for certain types of EHV equipment, a maximum gas content is sometimes specified when filling apparatus or in service.

Gas-in-oil analysis for the detection of incipient faults is dealt with in IEC 567 and 599.

4.9 *Flash-point*

A low flash-point is an indication of the presence of volatile combustible products in the oil.

Prolonged exposure of the oil to very high temperature under fault conditions may produce sufficient quantities of low molecular weight hydrocarbons to cause a lowering of the flash-point of the oil.

4.10 *Pour-point*

Pour-point is a measure of the ability of the oil to flow at low temperature. There is no evidence to suggest that the property is affected by oil deterioration. Changes in pour-point may normally be interpreted as the result of topping-up with a different type of oil.

4.11 *Density*

Density is not significant in determining the quality of an oil but may be useful for type identification or to suggest marked compositional changes. In cold climates density may be pertinent in determining suitability for use, e.g. ice crystals formed from separated water may float on oil of high density and lead to flashover on subsequent melting.

4.12 *Viscosity*

Viscosity is a controlling factor in the dissipation of heat. Ageing and oxidation of the oil tend to increase viscosity but the effect is not discernible at the deterioration levels considered in this guide. Viscosity measurements may be useful for oil type identification.