

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61181

Deuxième édition
Second edition
2007-02

**Matériels électriques imprégnés d'huile minérale –
Application de l'analyse des gaz dissous (AGD)
lors d'essais en usine de matériels électriques**

**Mineral oil-filled electrical equipment –
Application of dissolved gas analysis (DGA)
to factory tests on electrical equipment**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61181:2007

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61181

Deuxième édition
Second edition
2007-02

**Matériels électriques imprégnés d'huile minérale –
Application de l'analyse des gaz dissous (AGD)
lors d'essais en usine de matériels électriques**

**Mineral oil-filled electrical equipment –
Application of dissolved gas analysis (DGA)
to factory tests on electrical equipment**

© IEC 2007 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	4
INTRODUCTION.....	8
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives.....	10
3 Précautions générales, protection de la santé, de la sécurité et de l'environnement	10
4 Échantillonnage de l'huile.....	12
4.1 Généralités.....	12
4.2 Récipients d'échantillon.....	12
4.3 Point d'échantillonnage	12
4.4 Fréquence d'échantillonnage.....	12
4.5 Identification des échantillons	14
4.6 Stockage des échantillons	14
4.7 Élimination de l'huile usagée	16
5 Facteurs influençant la vitesse de formation de gaz pendant les essais d'échauffement.....	16
6 Extraction et analyse des gaz dissous	16
7 Rapport	20
Annexe A (informative) Vitesses de formation de gaz pendant les essais d'échauffement sur les transformateurs de puissance	22
Annexe B (informative) Vitesses de formation de gaz pendant les essais de choc de foudre coupé sur les transformateurs de mesure [6]	26
Bibliographie.....	28
Tableau 1 – Seuils de détection exigés pour les essais en usine	16
Tableau A.1 – Gammes de vitesses de formation de gaz typiques à 90 % dans des transformateurs de puissance modernes imprégnés d'huile minérale pendant les essais d'échauffement, en $\mu\text{l/l/h}$	22
Tableau A.2 – Relevé des cas suivis de problèmes dans des transformateurs de puissance à colonnes remplis d'huile, pour différentes vitesses de formation de gaz observés pendant les essais d'échauffement, en $\mu\text{l/l/h}$	24
Tableau B.1 – Augmentation de concentration de gaz typiques à 90 % dans des transformateurs de mesure entre le début et la fin des essais de choc de foudre coupé.....	26

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 General caution, health, safety and environmental protection	11
4 Oil sampling	13
4.1 General.....	13
4.2 Sample containers.....	13
4.3 Sampling location.....	13
4.4 Sampling frequency.....	13
4.5 Sample labelling.....	15
4.6 Sample storage	15
4.7 Disposal of waste oil	17
5 Factors affecting gassing rate during thermal tests.....	17
6 Dissolved gas extraction and analysis	17
7 Report.....	21
Annex A (informative) Gas formation rates during thermal tests on power transformers	23
Annex B (informative) Gas formation rates during chopped-lightning impulse tests on instrument transformers [6].....	27
Bibliography.....	29
Table 1 – Required detection limits for factory tests.....	17
Table A.1 – Ranges of 90 % typical rates of gas formation in modern, mineral oil- filled power transformers during thermal tests, in $\mu\text{l/l/h}$	23
Table A.2 – Survey of cases followed by problems in core-type, mineral oil- filled power transformers, for various rates of gas formation observed during the thermal tests, (values in $\mu\text{l/l/h}$).....	25
Table B.1 – 90 % typical gas concentration increases observed between the beginning and the end of chopped lightning-impulse tests on instrument transformers	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIELS ÉLECTRIQUES IMPRÉGNÉS D'HUILE MINÉRALE – APPLICATION DE L'ANALYSE DES GAZ DISSOUS (AGD) LORS D'ESSAIS EN USINE DE MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61181 a été établie par le comité d'étude 10 de la CEI: Fluides pour applications électrotechniques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1993 et constitue une révision technique.

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

- a) les procédures spécifiques utilisées pendant les essais en usine (points et fréquence d'échantillonnage, extraction des gaz et analyse chromatographique en laboratoire) sont décrites avec plus de détails;
- b) l'Annexe A fournit des informations sur les teneurs en gaz résiduelles qui sont recommandées avant les essais thermiques sur les transformateurs de puissance, sur les valeurs typiques de gaz observées pendant les essais, et sur les cas où la formation de gaz pendant les essais a été suivie de problèmes dans les transformateurs;

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MINERAL OIL-FILLED ELECTRICAL EQUIPMENT –
APPLICATION OF DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)
TO FACTORY TESTS ON ELECTRICAL EQUIPMENT**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

International Standard IEC 61181 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1993 and constitutes a technical revision.

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

- a) the specific procedures used during factory tests (sampling location, sampling frequency, gas extraction and chromatographic analysis in the laboratory) are described in more detail;
- b) information is provided in Annex A concerning the residual gas contents recommended before thermal tests on power transformers, typical gas values observed during the tests and cases where gas formation during the tests was followed by problems in the transformers;

- c) l'Annexe B indique les valeurs typiques observées pendant les essais en choc de foudre coupé sur les transformateurs de mesure.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
10/675/FDIS	10/688/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61181:2007

- c) typical values observed during chopped lightning-impulse tests on instrument transformers are indicated in Annex B.

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

FDIS	Report on voting
10/675/FDIS	10/688/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61181:2007

INTRODUCTION

Le comité d'étude 10 de la CEI, en charge de la CEI 61181, a préparé des lignes directrices concernant les mesures d'analyse des gaz dissous (AGD) réalisées pendant les essais en usine sur les matériels remplis d'huile minérale isolante afin d'assurer une certaine cohérence dans l'industrie et d'améliorer la confiance dans l'utilisation des résultats.

L'analyse des gaz dissous (AGD) est utilisée régulièrement comme procédure normalisée de contrôle de qualité pendant et après les essais en usine sur les matériels électriques, par exemple pendant les essais d'échauffement et les essais de choc de foudre coupés, pour indiquer qu'un type de conception répond aux spécifications. À cause des faibles quantités de gaz formées pendant les essais en usine, des exigences particulières sont nécessaires pour l'échantillonnage et l'analyse des échantillons d'huile et pour l'interprétation des résultats.

Les critères d'acceptation sont en dehors du domaine d'application du CE 10. Il est cependant signalé que les lignes directrices émises par le CIGRE en 1993-1995 [1]¹ ne s'appliquent plus aux transformateurs construits aujourd'hui, dont la conception a été améliorée. Des exemples de valeurs réellement observées aujourd'hui sont indiquées dans les Annexes A et B.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

INTRODUCTION

IEC technical committee 10, responsible for IEC 61181, has prepared guidelines for performing DGA measurements during factory testing on equipment filled with mineral insulating oil in order to ensure consistency in the industry and improve the confidence with which the results will be used.

DGA is used routinely as a standard quality control procedure during and after factory tests on electrical equipment, for example during temperature-rise and chopped lightning-impulse tests, to indicate that a design meets specified requirements. Due to the small quantities of gases generated during factory tests, specific requirements are necessary for the sampling and analysis of oil samples and the interpretation of results.

Acceptance criteria are beyond the scope of TC 10. Attention is drawn, however, to the fact that the guidelines issued by CIGRE in 1993-1995 [1]¹ do not apply any more to transformers manufactured today, the design of which having been improved. Examples of values actually observed today are indicated in Annexes A and B.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

MATÉRIELS ÉLECTRIQUES IMPRÉGNÉS D'HUILE MINÉRALE – APPLICATION DE L'ANALYSE DES GAZ DISSOUS (AGD) LORS D'ESSAIS EN USINE DE MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les modes opératoires d'échantillonnage des huiles, les exigences analytiques et les procédures, et recommande les critères de sensibilité, de répétabilité et de précision pour l'application de l'analyse des gaz dissous (AGD) aux essais en usine des transformateurs de puissance neufs, des bobines d'inductance et des transformateurs de mesure, dans le cas où le cahier des charges prévoit des essais d'analyse des gaz dissous (AGD).

L'application des techniques d'AGD la plus utile et la plus efficace, au cours des essais en usine, est celle pratiquée pendant les essais de fonctionnement de longue durée, particulièrement les essais de surcharge et d'échauffement des transformateurs de puissance et des bobines d'inductance, ainsi que les essais au choc de foudre sur les transformateurs de mesure. L'analyse des gaz dissous peut être aussi valable pour les essais de surexcitation effectués pendant une période de temps prolongée.

L'expérience acquise avec les résultats de l'AGD, avant et après les essais diélectriques de courte durée, montre que, l'analyse des gaz dissous, est moins sensible que les méthodes électriques et acoustiques pour la détection des décharges partielles. Cependant, l'AGD indiquera quand ces décharges deviennent dangereuses pour l'isolation et peuvent être détectées par inspection [2].

2 Références normatives

Le document de référence suivant est indispensable pour l'application 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).

CEI 60567: *Matériels électriques immergés – Echantillonnage de gaz et d'huile pour analyse des gaz libres et dissous – Lignes directrices*

3 Précautions générales, protection de la santé, de la sécurité et de l'environnement

La présente norme ne vise pas à répondre à tous les problèmes de sécurité liés à son utilisation. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de la présente norme d'établir les pratiques d'hygiène et de sécurité adéquates, et de vérifier avant utilisation si des contraintes réglementaires s'appliquent.

Il convient de manipuler les huiles minérales isolantes dont traite la présente norme en respectant l'hygiène personnelle. Le contact direct avec les yeux peut provoquer une irritation. En cas de contact oculaire, il convient d'effectuer un lavage avec une grande quantité d'eau courante propre et de consulter un médecin. Certains essais spécifiés dans la présente norme impliquent des opérations pouvant conduire à une situation dangereuse. Les recommandations des normes correspondantes seront prises en compte.

MINERAL OIL-FILLED ELECTRICAL EQUIPMENT – APPLICATION OF DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) TO FACTORY TESTS ON ELECTRICAL EQUIPMENT

1 Scope

This International Standard specifies oil-sampling procedures, analysis requirements and procedures, and recommends sensitivity, repeatability and accuracy criteria for the application of dissolved gas analysis (DGA) to factory testing of new power transformers, reactors and instrument transformers filled with mineral insulating oil when DGA testing has been specified.

The most effective and useful application of DGA techniques to factory testing is during the performance of long-term tests, typically temperature-rise (heat run) and overloading tests on power transformers and reactors, also impulse tests on instrument transformers. DGA may also be valuable for over-excitation tests run over an extended period of time.

Experience with DGA results, before and after short-time dielectric tests, indicates that DGA is normally less sensitive than electrical and acoustic methods for detecting partial discharges. However, DGA will indicate when these partial discharges become harmful to the insulation and may be detected by inspection [2].

2 Normative references

The following referenced document is indispensable for the application 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 60567: *Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases – Guidance*

3 General caution, health, safety and environmental protection

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

The mineral insulating oils which are the subject of this standard should be handled with due regard to personal hygiene. Direct contact with the eyes may cause irritation. In the case of eye contact, irrigation with copious quantities of clean running water should be carried out and medical advice sought. Some of the tests specified in this standard involve the use of processes that could lead to a hazardous situation. Attention is drawn to the relevant standard for guidance.

La présente norme est applicable aux huiles minérales et aux récipients d'échantillons usagés, dont il faut que l'élimination ou la décontamination de ces huiles se fassent rigoureusement, selon les réglementations locales. Il convient de prendre toutes les précautions afin d'empêcher un déversement d'huile minérale dans l'environnement.

4 Échantillonnage de l'huile

4.1 Généralités

L'échantillonnage de l'huile doit être réalisé en utilisant un appareillage et les méthodes tels qu'ils sont définis dans la CEI 60567.

Il est recommandé que les échantillons soient prélevés par du personnel qualifié, habitué à travailler selon la CEI 60567.

Les échantillons doivent être doublés (échantillon d'essai et échantillon de réserve).

4.2 Récipients d'échantillon

Une seringue en verre, étanche au gaz, de volume convenable, équipée d'un robinet d'échantillonnage à trois voies est le récipient le plus approprié. Pour l'entreposage et le transport, des bouchons en acier inoxydable peuvent également être utilisés.

L'utilisation d'autres récipients de prélèvement se conformant à la CEI 60567 est acceptable.

4.3 Point d'échantillonnage

Les échantillons d'huile doivent être représentatifs de toute la masse d'huile de l'appareil. Dans les transformateurs de puissance, les échantillons doivent être prélevés dans le flux d'huile principal (par exemple, à partir des tuyaux de circulation d'huile dans les radiateurs situés au niveau du sol quand la pompe est en marche, ou à l'aide d'un tuyau de métal amenant l'huile de la vanne du haut jusqu'au sol). Les points hors de ce flux principal (par exemple, à partir de la vanne du bas de la cuve) doivent être écartés. Pour les transformateurs de mesure, suivre les instructions du fabricant.

Quand des seringues sont utilisées, il est recommandé de laisser couler au moins 2 l d'huile avant l'échantillonnage (quand des bouteilles sont utilisées, deux fois le volume de la bouteille ou 5 l). Quand des bouteilles sont utilisées, il convient d'installer un morceau de tube compatible avec l'huile entre la vanne d'huile et le fond de la bouteille, et de remplir la bouteille d'huile du bas vers le haut.

NOTE Ces dispositions ne sont pas applicables aux matériels électriques de faible volume d'huile.

4.4 Fréquence d'échantillonnage

4.4.1 Essais d'échauffement sur les transformateurs de puissance

Indépendamment du type d'essai et de sa durée, les échantillons d'huile pour l'AGD doivent être prélevés avant le début et après la fin de l'essai.

Des échantillons intermédiaires peuvent être prélevés pendant l'essai, suivant sa durée et sa nature, car ils peuvent contribuer à améliorer la précision des résultats et la fiabilité de l'interprétation. Les pratiques à cet égard varient largement, et c'est à l'utilisateur de décider du nombre d'échantillons à prélever.

This standard is applicable to mineral insulating oils and used sample containers, the disposal or decontamination of which must be done according to local regulations. Every precaution should be taken to prevent release of mineral oil into the environment.

4 Oil sampling

4.1 General

Sampling of oil shall be carried out using apparatus and methods complying with IEC 60567.

It is recommended that samples be taken by qualified personnel, trained to operate in accordance with IEC 60567.

Samples shall be taken in duplicate (test sample and spare sample).

4.2 Sample containers

The most appropriate container is a gas-tight glass syringe of suitable capacity and fitted with a three-way sampling cock. For storage and transportation, stainless steel caps may also be used.

Alternative sample containers conforming to IEC 60567 are acceptable.

4.3 Sampling location

Oil samples shall be representative of the bulk of the oil in the equipment. In power transformers, oil samples shall be taken from the main oil stream (e.g. at the ground level of the pipes circulating the oil through the radiators, when the pump is in operation, or using a metal pipe to bring the oil from the top oil valve to the ground). Points outside the main oil stream (e.g. from the bottom valve of the tank) shall be disregarded. For instrument transformers, follow the indications of manufacturers.

When using syringes, draining of at least 2 l of oil is recommended before sampling (when using bottles, twice the volume of the bottle or 5 l). When using bottles, a piece of oil-compatible tubing should be used from the oil valve to the bottom of the bottle, and the bottle filled with oil from the bottom up.

NOTE These provisions are not applicable to electrical equipment of small oil volume.

4.4 Sampling frequency

4.4.1 Thermal tests on power transformers

Irrespective of the type and duration of the test, oil samples for DGA shall be taken before the test begins and after the conclusion of the test.

Intermediate samples may be taken during the test depending on its duration and nature as they may be essential to improve the precision of the data and the reliability of their evaluation. Practices to that respect vary widely, and it is left to the user to decide the number of samples to be taken.

Il a été trouvé utile de prélever des échantillons d'huile aux étapes suivantes des essais d'échauffement:

- après le remplissage du transformateur avec de l'huile dégazée (pour contrôler la qualité du séchage et de la procédure de remplissage);
- une journée à une semaine après, selon le transformateur (quand l'imprégnation de l'huile dans le papier est terminée);
- avant le début de l'essai d'échauffement;
- toutes les 2 h pendant les essais, ou à d'autres intervalles de temps selon la durée des essais et le design du transformateur;
- à la fin de l'essai seulement;
- 24 h ou plus après la fin de l'essai (pour que l'équilibre soit atteint);
- certains utilisateurs recommandent de procéder à l'analyse des échantillons pris en double ou intermédiaires seulement si cela s'avère nécessaire plus tard.

Si le système de refroidissement de l'appareil en essai est équipé de pompes de circulation de l'huile, il convient de mettre celles-ci en marche 2 h avant de prélever le premier échantillon d'huile et qu'elles soient maintenues en marche jusqu'au dernier échantillon, sauf pendant les périodes d'essai qui exigent l'arrêt de ces pompes.

NOTE Dans le cas des essais diélectriques sur les transformateurs de puissance, des échantillonnages d'huile peuvent être prélevés:

- avant le premier essai à haute tension;
- après tous les essais diélectriques.

4.4.2 Essais de choc sur les transformateurs de mesure

Un échantillon d'huile doit être prélevé avant l'essai de choc de foudre coupé. Un deuxième échantillon d'huile doit être prélevé 72 h après l'essai pour s'assurer de la diffusion des faibles quantités de gaz formées pendant l'essai

NOTE 1 Pendant les essais diélectriques, l'huile dans un transformateur de mesure est pratiquement stationnaire et même les mouvements de convection sont restreints. En conséquence, la diffusion des petites quantités de gaz formées vers le point d'échantillonnage peut prendre un temps considérable. Il est essentiel que le fabricant et le client s'entendent sur le moment auquel il convient de prélever le dernier échantillon.

NOTE 2 Entre le début et la fin des essais de choc, il convient de ne pas soumettre les transformateurs de mesure à d'autres essais.

4.5 Identification des échantillons

Il convient que les échantillons d'huile soient convenablement identifiés avant d'être expédiés au laboratoire, en donnant au moins les informations suivantes:

- identification du matériel;
- date de l'échantillonnage et durée de l'essai;
- nature de l'essai en usine;
- point de prélèvement;
- température de l'huile du haut.

4.6 Stockage des échantillons

Pour éviter l'oxydation de l'huile, les échantillons doivent être protégés de la lumière, en enveloppant le récipient avec une feuille d'aluminium, ou en le conservant dans un endroit à l'abri de la lumière.

Oil sampling at the followings stages of the thermal tests has been found useful:

- after filling the transformer with degassed oil (for quality control of the drying and filling process);
- one day to one week later, depending on the transformer (when impregnation of oil in paper is completed);
- before start of thermal test;
- every 2 h during the tests, or at different test intervals depending on test duration and transformer design;
- at the end of test only;
- 24 h or more after the test is completed (to allow for equilibrium to be completed);
- some users recommend analysis of the duplicate and intermediate samples only if found necessary later.

If the cooling system of the unit under test includes oil pumps, they should be operated 2 h before the first oil sample is taken and kept running until the last oil sample is taken, except for any period the test conditions require the pumps to be turned off.

NOTE In the case of dielectric tests on power transformers, oil sampling may be performed:

- before first HV test.
- after all dielectric tests.

4.4.2 Impulse tests on instrument transformers

An oil sample shall be taken before the chopped lightning-impulse test. A second oil sample shall be taken 72 h after the test to assure the diffusion of the small quantities of gas generated during the test.

NOTE 1 During dielectric tests, the oil in an instrument transformer is virtually stationary and even convective movement is restricted. Consequently, the diffusion of small quantities of gas generated to the sampling point may take a considerable time. It is essential that the manufacturer and purchaser reach an agreement on the time the last sample should be taken.

NOTE 2 Between the beginning and the end of impulse tests, instrument transformers should not be subjected to other tests.

4.5 Sample labelling

Oil samples should be properly labelled before dispatch to the laboratory with the following minimum information:

- identification of equipment;
- date and time of sampling;
- nature of factory test;
- sampling point;
- top oil temperature.

4.6 Sample storage

To prevent oxidation, the samples shall be shielded from direct light by wrapping the container in aluminium foil or by storing in an opaque enclosure.

4.7 Élimination de l'huile usagée

L'huile usagée doit être éliminée selon les règlements locaux en vigueur.

5 Facteurs influençant la vitesse de formation de gaz pendant les essais d'échauffement

Les mesures de gaz sont utilisées pour détecter l'effet de températures anormales dans les enroulements, les conducteurs, le circuit magnétique, les éléments structuraux, ou reliés aux courants de fuite. Le design de ces parties des transformateurs a en conséquence une influence sur la vitesse de formation de gaz. Les autres aspects importants suivants peuvent influencer la vitesse de production:

- le rapport en poids entre l'huile et le papier: s'il y a moins d'huile pour absorber les gaz produits, des vitesses de formation de gaz plus élevées seront observées;
- le type et la qualité du papier (thermiquement plus stable ou non, Nomex);
- le type et la marque d'huile (tendance à émettre du gaz);
- dans certains transformateurs: peintures, colles, acier inoxydable et autres matériaux);
- la méthode et l'efficacité du refroidissement;
- la durée de l'essai.

La vitesse de formation de gaz dépend fortement de la température et de la teneur en air. Il convient de noter qu'il se forme toujours un peu de gaz, bien qu'en très faibles quantités, durant tous les essais d'échauffement.

La concentration en oxygène est normalement faible par suite du dégazage initial. De l'oxygène peut parfois être rajouté dans l'huile jusqu'à un certain niveau, par exemple 8 000 µl/l à 12 000 µl/l, pour augmenter la formation de gaz. Dans le cas d'un transformateur avec un coussin d'azote, des quantités considérables de gaz peuvent diffuser hors de l'huile.

6 Extraction et analyse des gaz dissous

Il convient d'extraire et d'analyser les gaz dissous par chromatographie en phase gazeuse, selon la CEI 60567, à ceci près que les seuils de sensibilité de la méthode doivent être ceux donnés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Seuils de détection exigés pour les essais en usine

Gaz	Concentrations	
	µl/l	µmol/l
Hydrogène	2	0,08
Hydrocarbures	0,1	0,004
Monoxyde de carbone	5	0,2
Dioxyde de carbone	10	0,4
Oxygène	500	21
Azote	2000	84

Il convient d'analyser les échantillons dès que possible après leur prélèvement et, en aucun cas, au-delà de sept jours après ce prélèvement.

4.7 Disposal of waste oil

Waste oil shall be disposed of according to local regulations.

5 Factors affecting gassing rate during thermal tests

Gas measurements are used to detect the effect of abnormal temperatures in windings, leads, magnetic circuit, structural elements, or from abnormal leakage flux. The design of these transformer parts therefore has an influence on gas production rate. Other important design aspects that may affect production rate are:

- oil to cellulose mass ratio: if there is less oil to absorb the gas produced, higher gassing rates will be observed;
- paper type or quality (thermally upgraded or not, Nomex);
- oil type or brand (stray gassing tendency);
- in some transformers: paints, glues, stainless steel and other materials;
- cooling method and cooling efficiency;
- test duration.

Gassing rate is strongly dependent on temperature and air content. It should be noted that there is always some gassing, although very low, during all thermal tests.

Oxygen concentration is normally low since the oil is initially degassed. Sometimes the oil can be oxygenated to a given range of concentrations, such as 8 000 µl/l to 12 000 µl/l, to increase gas formation. In case of a nitrogen-cushioned transformer, considerable amounts of gases may diffuse from the oil.

6 Dissolved gas extraction and analysis

Gases dissolved in oil should be extracted and analysed by gas chromatography in accordance with IEC 60567, with the detection limits of the overall determination indicated in Table 1.

Table 1 – Required detection limits for factory tests

Gas	Concentrations	
	µl/l	µmol/l
Hydrogen	2	0,08
Hydrocarbons	0,1	0,004
Carbon monoxide	5	0,2
Carbon dioxide	10	0,4
Oxygen	500	21
Nitrogen	2000	84

Oil samples should be analysed as soon as possible after being taken and in no case later than seven days afterwards.

Les méthodes d'extraction de gaz recommandées pour les essais en usine, comme cela est indiqué dans la CEI 60567, sont les méthodes de Toepler et de dégazage partiel, y compris leurs versions sans mercure, car elles ont une plus grande efficacité pour l'extraction des gaz aux faibles concentrations observées pendant les essais en usine. L'échantillonnage de tête peut être utilisé s'il est possible d'atteindre une sensibilité et une exactitude suffisantes.

Quand le dégazage partiel est utilisé, les adaptations suivantes pour les essais en usine sont recommandées:

- utiliser une burette de gaz plus petite;
- analyser un blanc (sans huile injectée) pour vérifier les fuites de vide du système d'extraction;
- utiliser un système d'extraction dédié aux essais en usine (pour éviter la contamination par les échantillons d'huile de routine contenant des niveaux élevés de gaz de défaut);
- si cela n'est pas possible, appliquer la procédure complète d'extraction à un échantillon d'huile dégazée avant d'analyser les échantillons d'essais en usine;
- si une meilleure fidélité est souhaitée, utiliser un plus grand volume d'huile (par exemple, en utilisant une seringue de 50 ml à 100 ml).

Quand la méthode de Toepler est utilisée, les adaptations suivantes sont recommandées:

- si on sait avant l'extraction de gaz que l'huile utilisée a été bien dégazée (volume total < 1 %), introduire un volume mesuré (par exemple de 1 ml à 2 ml) d'argon dans la seringue d'huile (pour augmenter la fidélité de la lecture du volume de gaz total mesuré dans la burette);
- si après l'extraction du gaz le volume de gaz extrait est trop petit pour être quantifié de façon fidèle, introduire par exemple 1 ml à 1,5 ml d'argon au gaz extrait, pour qu'il y ait un volume de gaz suffisant pour effectuer l'analyse;
- une autre possibilité, quand le volume total de gaz est trop petit pour obtenir une lecture sur la burette, consiste à baisser le niveau de mercure et à prendre une lecture à pression réduite, puis à corriger pour la pression atmosphérique;
- balayer avec de l'air puis mettre sous vide (pour décontaminer le système d'extraction des analyses précédentes). Une procédure complète d'extraction sur un échantillon d'huile dégazée peut également être utilisée quand l'appareil a été contaminé par des échantillons de routine.

Il est recommandé d'utiliser des colonnes capillaires de haute sensibilité comme dans l'exemple 2 du Tableau 3 de la CEI 60567.

En plus des seuils suffisants de sensibilité, il est nécessaire d'avoir une très bonne répétabilité, afin de se prémunir contre de fausses interprétations des résultats. Il en résulte qu'il est essentiel que tous les échantillons soient analysés par le même laboratoire (qui peut être le laboratoire du fabricant), utilisant un personnel très qualifié et entraîné, et au cours d'une courte période de temps. Il est également recommandé que la répétabilité de la méthode utilisée dans le laboratoire soit contrôlée régulièrement, en effectuant des mesures de répétabilité. Un critère de répétabilité aux faibles concentrations en gaz est indiqué dans la CEI 60567:

$$r \leq S$$

où S est le seuil de détection exigé.

The recommended methods of gas extraction for factory tests, as indicated in IEC 60567, are the Toepler and partial degassing methods, including their Mercury Free versions, since they allow a higher gas extraction efficiency at the low gas concentration levels observed during factory tests. Head space may be used if a sufficient sensitivity and accuracy can be reached.

When using partial degassing, the following adaptations for factory tests are recommended:

- use a gas burette of smaller volume;
- run a blank (with no oil injected) to check for vacuum leaks in the extraction system;
- use an extraction system dedicated to factory tests (to avoid contamination by routine oil samples containing high levels of fault gases);
- if this is not possible, perform a full extraction procedure on a sample of degassed oil before running the factory test samples;
- if a better precision is desired, use a larger volume of oil (e.g., a 50 ml or 100 ml syringe).

When using Toepler method, the following adaptations are recommended:

- if it is known before gas extraction that the oil used has been well degassed (total volume < 1 %), introduce a measured volume (e.g. 1 ml to 2 ml) of argon into the oil syringe (to increase the precision on the reading of the total gas measured in the burette);
- if after gas extraction the extracted gas volume is too small for precise quantification, introduce e.g. 1 ml or 1,5 ml of argon to the extracted gas, so that there is sufficient gas volume to carry out the analysis;
- alternatively, when the total gas volume is too small to obtain a reading on the burette, lower the mercury level and take a reading at reduced pressure, then correct to atmospheric pressure;
- flush with air then put under vacuum (to decontaminate the extraction system from previous analyses). A full extraction procedure on a sample of degassed oil may also be used where the apparatus may be contaminated from routine samples;
- an alternative procedure consists in increasing the volume of oil used (typically, twice the amount used for routine analysis).

The use of high sensitivity capillary columns, as in example 2 of Table 3 of IEC 60567 is recommended.

In addition to adequate sensitivity levels, a very good repeatability r is necessary to prevent misinterpretation of results. Consequently, it is essential for all samples to be analysed by the same laboratory, by highly-trained qualified personnel, and within a short period of time. It is also recommended that the laboratory repeatability be regularly monitored. A required criteria for repeatability at low gas concentrations, as indicated in IEC 60567, is:

$$r \leq S$$

where S is the required detection limit.

La détection de très faibles différences de concentrations est le but final de l'analyse des gaz dissous. Une différence calculée n'est significative que si elle est plus grande que la répétabilité (pour les analyses effectuées au cours d'une courte période de temps, par exemple une journée), ou que la reproductibilité ou par défaut l'exactitude (pour les analyses effectuées au cours de périodes de temps plus longues), comme cela est indiqué en 9.3 de la CEI 60567.

L'exactitude exigée, déduite d'essais interlaboratoires par le CE 10 aux faibles teneurs en gaz (de 1 $\mu\text{l/l}$ à 3 $\mu\text{l/l}$ des hydrocarbures, 2,5 $\mu\text{l/l}$ de H_2 , 5 $\mu\text{l/l}$ de CO et 40 $\mu\text{l/l}$ de CO_2) est de $\pm 44\%$.

7 Rapport

Il convient que les informations ci-après figurent dans le rapport:

- nom du laboratoire d'essai;
- identification du matériel en essai;
- points de prélèvement;
- résultats de l'analyse des gaz dissous (AGD) sur chaque échantillon, exprimés en $\mu\text{l/l}$ ou en $\mu\text{mol/l}$ (le volume total de gaz, l'oxygène et l'azote peuvent être exprimés, sans inconvénient, en pourcentage de volume d'huile);
- vitesse de formation de chaque gaz, en $\mu\text{l/l/h}$.

The objective of the DGA determinations is the detection of very small differences between oil samples. A calculated difference is significant only if it is larger than the repeatability (for analyses performed within a short period of time, e.g., one day), or than the reproducibility or by default the accuracy (for analyses performed over a longer period of time), as indicated in 9.3 of IEC 60567.

The required accuracy, deduced from round robin tests performed by IEC TC 10 at low gas levels (1 $\mu\text{l/l}$ to 3 $\mu\text{l/l}$ of the hydrocarbons, 2,5 $\mu\text{l/l}$ of H_2 , 5 $\mu\text{l/l}$ of CO and 40 $\mu\text{l/l}$ of CO_2), is $\pm 44\%$.

7 Report

The report should include the following information:

- testing laboratory;
- identification of equipment tested;
- sampling location;
- DGA results on each sample, in $\mu\text{l/l}$ or $\mu\text{mol/l}$ (total volume of gas, oxygen and nitrogen may conveniently be expressed in percent of oil volume);
- rate of generation of gases in $\mu\text{l/l/h}$.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61181:2007

Annexe A (informative)

Vitesses de formation de gaz pendant les essais d'échauffement sur les transformateurs de puissance

En raison des faibles quantités de gaz formées pendant les essais en usine, l'huile utilisée dans les matériels est habituellement dégazée pour éliminer les gaz préalablement présents qui pourraient interférer avec les diagnostics. Les teneurs en air résiduelles typiques recommandées sont < 0,5 % dans les grands transformateurs de puissance (> 100 MVA), < 1 % dans les transformateurs de puissance intermédiaires (entre 20 MVA et 100 MVA), et jusqu'à 2 % dans les petits transformateurs de puissance et les transformateurs de distribution.

La CIGRE TF 15/12-01-11 [2] a montré que l'utilisation d'huiles «émettant du gaz» thermiquement n'a pas d'influence marquée sur l'interprétation des essais, sauf dans le cas d'huiles émettant beaucoup de gaz. Il est néanmoins préférable, quand cela est possible, d'utiliser pour les essais une huile n'émettant pas ou peu de gaz dans les transformateurs. Il convient d'éviter soigneusement toute source accidentelle de gaz (en provenance de soudures, du changeur de prises, etc.).

Les gammes de vitesses de formation de gaz typiques à 90 %, observées pendant les essais d'échauffement effectués selon la CEI 60076-2 ou le Guide IEEE/ ANSI [3], [4] sur des transformateurs de puissance modernes avec conservateur, sont indiquées au Tableau A.1 au-dessous. Les valeurs du Tableau A.1 proviennent de trois grands fabricants de transformateurs de puissance et de quatre réseaux électriques importants, situés dans sept pays différents.

Tableau A.1 – Gammes de vitesses de formation de gaz typiques à 90 % dans des transformateurs de puissance modernes imprégnés d'huile minérale pendant les essais d'échauffement, en $\mu\text{l/l/h}$

	H ₂	C _n	H ₂ + C _n	CO	CO ₂
Transformateurs de puissance	0,1 - 1,3	0,04 - 0,3	0,1 - 1,6	0,4 - 2	5 - 18
De type cuirassé				4	
Cas spéciaux	1,7	0,5	2,2	5	20

NOTE 1 « Cas spéciaux » dans le Tableau A.1 correspond à des transformateurs ayant des problèmes de compatibilité des matériaux (par exemple, réactions avec les peintures intérieures), ou remplis avec de l'huile émettant beaucoup de gaz, qui sont utilisés dans certains pays.

NOTE 2 Le calcul des valeurs typiques à 90 % est décrit dans la référence [2] et dans la CEI 60599 [5].

NOTE 3 C₂H₂ typiquement n'est pas formé pendant les essais et est en dessous de la limite de sensibilité.

NOTE 4 C_n = CH₄ + C₂H₆ + C₂H₄ + C₂H₂.

Avertissement: Les valeurs du Tableau A.1 ne sont pas des « valeurs limites acceptables » mais des valeurs observées dans 90 % de la population de transformateurs considérée. Les valeurs limites acceptables (critères d'acceptation) sont en dehors du domaine d'application de cette norme et il convient que l'utilisateur et le fabricant s'entendent sur ces valeurs avant les essais.

Le Tableau A.2 indique le nombre de cas où des problèmes ont été trouvés (et non trouvés), pendant les essais d'échauffement, ou quand le transformateur a été remis en service à la suite des essais, pour différents niveaux de formation de gaz observés pendant les essais.

Annex A (informative)

Gas formation rates during thermal tests on power transformers

Because of the small gas quantities formed during factory tests, the oil used in the equipment tested is usually degassed to eliminate any gases previously present that might interfere with test diagnoses. Typical residual air contents recommended are < 0,5 % in large power transformers (>100 MVA), <1 % in medium power transformers (between 20 MVA and 100 MVA) and up to 2 % in smaller power transformers and distribution transformers.

It has been shown by CIGRE TF 15/12-01-11 [2] that the use of thermally “stray gassing” oils will not significantly interfere with test diagnoses, except in the case of very strongly stray gassing oils. However, when possible, it might be better to use a non- or mildly- stray gassing oil in transformers for the tests. Any other accidental source of gases (from welds, tap changer, etc) should be carefully avoided.

Ranges of 90 % typical rates of gas formation observed during thermal tests, performed according to IEC 60076-2 or the IEEE/ ANSI Guide [3], [4] on modern conservator-type transformers, are indicated in Table A.1 below. Values in Table A.1 have been reported by three major manufacturers of power transformers and four large electrical utilities, operating in seven different countries.

Table A.1 – Ranges of 90 % typical rates of gas formation in modern, mineral oil- filled power transformers during thermal tests, in $\mu\text{l/l/h}$

	H ₂	C _n	H ₂ + C _n	CO	CO ₂
Power transformers	0,1 - 1,3	0,04 - 0,3	0,1 - 1,6	0,4 - 2	5 - 18
Shell-type				4	
Special cases	1,7	0,5	2,2	5	20

NOTE 1 “Special cases” in Table A.1 correspond to transformers with materials compatibility problems (e.g. reactions with interior paints), or filled with a strongly stray gassing oil, which are used in some countries.

NOTE 2 The calculation of 90 % typical values is described in reference [2] and in IEC 60599 [5].

NOTE 3 C₂H₂ typically is not generated during the tests and is below the detection limit.

NOTE 4 C_n = CH₄ + C₂H₆ + C₂H₄ + C₂H₂.

Warning: Values in Table A.1 are not “acceptable limit values” but values observed in 90 % of the transformer populations tested. Acceptable limit values (acceptance criteria) are outside the scope of this standard and should be agreed by user and manufacturer in advance of testing.

Table A.2 indicates the number of cases where problems were found (and not found) during thermal tests, or when the transformer was put back in service following the tests, for various rates of gas formation observed during the tests.