

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60897

Première édition
First edition
1987-03

**Méthodes de détermination de la tension de
claquage au choc de foudre des liquides isolants**

**Methods for the determination of the lightning
impulse breakdown voltage of insulating liquids**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60897: 1987

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

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 in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60897

Première édition
First edition
1987-03

**Méthodes de détermination de la tension de
claquage au choc de foudre des liquides isolants**

**Methods for the determination of the lightning
impulse breakdown voltage of insulating liquids**

© IEC 1987 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://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

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Considérations générales	6
3. Documents de référence	8
4. Appareillage	8
5. Echantillonnage du liquide	10
6. Préparation et entretien de la cellule	10
7. Préparation de l'essai	10
8. Procédures d'essai	12
8.1 Méthode A — Essai par échelons	12
8.2 Méthode B — Test progressif	14
9. Rapport d'essai	16
ANNEXE A — Test progressif de comparaison de la probabilité de claquage des diélectriques liquides à une valeur normalisée — Construction d'un graphe de décision	18
ANNEXE B — Mesurage des rayons de courbure des aiguilles	24
FIGURES	26

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60897:1987

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. General	7
3. Documents referred to	9
4. Apparatus	9
5. Sampling of the liquid	11
6. Preparation and maintenance of the cell	11
7. Preparation of test	11
8. Test procedures	13
8.1 Method A — Step test	13
8.2 Method B — Sequential test	15
9. Report	17
APPENDIX A — Sequential test for comparison of the breakdown probability of liquid dielectrics with a standard value — Construction of a ruling graph	19
APPENDIX B — Measurement of radius of curvature of needles	25
FIGURES	26

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES DE DÉTERMINATION
DE LA TENSION DE CLAQUAGE AU CHOC DE FOUDRE
DES LIQUIDES ISOLANTS**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
10A(BC)64	10A(BC)68

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS FOR THE DETERMINATION
OF THE LIGHTNING IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE
OF INSULATING LIQUIDS**

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Sub-Committee 10A: Hydrocarbon Insulating Oils, of IEC Technical Committee No. 10: Fluids for Electrotechnical Applications.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
10A(CO)64	10A(CO)68

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA TENSION DE CLAQUAGE AU CHOC DE FOUDRE DES LIQUIDES ISOLANTS

1. Domaine d'application

- 1.1 La présente norme décrit deux méthodes d'essai A et B pour estimer la rigidité électrique en champ divergent de liquides isolants au choc de foudre normalisé.

La méthode A repose sur une méthode par échelons destinée à évaluer, dans des conditions déterminées, la tension de claquage au choc.

La méthode B est un test statistique destiné à contrôler une hypothèse concernant la probabilité de claquage d'un liquide isolant, pour un niveau de tension donné.

- 1.2 Les deux méthodes s'appliquent aux liquides isolants neufs ou usagés de viscosité inférieure à 700 mm²/s à 40 °C.

Ces méthodes peuvent être utilisées en polarité négative ou positive. Aucune exigence particulière n'est demandée concernant la préparation de l'échantillon du liquide, pourvu qu'il satisfasse à l'usage industriel; cependant, des essais réalisés avant et après traitement de l'échantillon peuvent être utiles pour en montrer l'influence.

- 1.3 Ces deux méthodes sont principalement destinées à établir des procédures normalisées d'évaluation de la rigidité électrique au choc des liquides isolants. Elles peuvent servir à différencier les liquides diélectriques entre eux et à détecter des variations de leurs caractéristiques, provenant de modifications de leur composition chimique qui résulteraient de changement du processus de fabrication ou des produits de base.

2. Considérations générales

- 2.1 Les liquides isolants utilisés dans les appareils électriques peuvent être soumis à une contrainte de tension de choc de foudre ou bien de manœuvre, superposée au fonctionnement permanent à fréquence industrielle.

Que ces surtensions soient unidirectionnelles ou oscillantes, il en résultera toujours un fonctionnement transitoire, de polarité négative ou positive, nécessitant, dans ces conditions, de connaître le comportement du liquide isolant utilisé.

Cependant, il est nécessaire d'acquérir une plus grande expérience pour établir une corrélation entre les résultats de tension de claquage au choc des liquides, obtenus avec des cellules d'essai à géométrie d'électrodes pointe-sphère, et leur application dans les systèmes d'isolation.

- 2.2 Le claquage au choc des liquides isolants est un phénomène complexe qui n'est pas encore totalement élucidé; il requiert l'initiation et la propagation d'une perturbation de prérupture («streamers»).

On a pu constater que la tension de claquage dépend de facteurs tels que: forme de la tension, durée d'application et configuration du champ.

Pour obtenir des résultats comparables, il faut préciser tous ces facteurs et les maîtriser étroitement. Même ainsi, on observe fréquemment une dispersion des résultats que l'on suppose due à la nature aléatoire des mécanismes de prérupture.

- 2.3 Alors qu'en champ symétrique, le comportement au claquage ne dépend pas de la polarité de la tension appliquée, cette polarité a un effet marqué en champs divergents, particulièrement en géométrie pointe-sphère. L'expérience a montré, dans ce cas, que la composition chimique du

METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE LIGHTNING IMPULSE BREAKDOWN VOLTAGE OF INSULATING LIQUIDS

1. Scope

- 1.1 This standard describes two test methods, A and B, for assessing the electric strength of insulating liquids in a divergent field when subjected to standard lightning impulse.

Method A is based on a step procedure intended to provide an estimate of impulse breakdown voltage under specific conditions.

Method B is a statistical test designed to check an hypothesis about the impulse breakdown probability of an insulating liquid at a given voltage level.

- 1.2 Both methods can be applied to unused or used insulating liquids, the viscosity of which is lower than 700 mm²/s at 40 °C.

The methods can be used with positive or negative impulses. No specific stipulations are made regarding the preparation of the liquid sample provided that it corresponds to industrial practice; however, tests made before and after treatment of the sample may be useful for demonstrating the effect of treatment.

- 1.3 Both methods are primarily intended to establish standardized procedures for assessing the impulse electric strength of insulating liquids. They may serve to differentiate dielectric liquids between each other and to detect variations in their characteristics due to modifications in their chemical composition as the result of changes in the manufacturing process and/or feed-stocks.

2. General

- 2.1 Insulating liquids in service in electrical apparatus may be subjected to switching or lightning transient voltage stress superimposed on continuous operation voltage at power frequency.

Whether such surges be unidirectional or oscillatory, the result will always be a transient operation with positive or negative polarity, requiring knowledge of the behaviour of the insulating liquid under these conditions.

However, much more experience is necessary before the results of impulse breakdown voltage obtained in test cells employing point-to-sphere electrode geometry can be correlated with performance of the liquid in practical insulation systems.

- 2.2 In insulating liquids, impulse breakdown is a complex phenomenon, still not fully understood; it requires the initiation and the propagation of a prebreakdown disturbance (streamers).

Breakdown voltage appears to be determined by such factors as voltage wave shape, duration of the applied voltage and field configuration.

To obtain comparable results it is necessary for all these factors to be clearly defined and kept under close control. Even so, however, a spread of results is frequently observed which is believed to be associated with the random nature of prebreakdown mechanisms.

- 2.3 Whilst breakdown behaviour in a symmetrical field is not affected by the polarity of voltage applied, polarity does have a marked effect in divergent fields, particularly in point-to-sphere geometry. In this configuration, experience has shown that the chemical composition of the liquid has a

liquide joue un rôle essentiel dans la détermination des propriétés de claquage au choc en onde négative.

En conséquence, des géométries à champ fortement divergent, telles qu'elles sont utilisées dans les méthodes décrites, sont indispensables pour faire apparaître des différences d'effets dues à la composition des liquides isolants.

- 2.4 La tension de claquage au choc dépend de la durée de front de l'onde. En conséquence, les méthodes décrites spécifient seulement l'emploi de l'onde pleine normale (1,2/50).
- 2.5 A la différence de la tension de claquage à fréquence industrielle (Publication 156 de la CEI), la tension de claquage au choc pointe-sphère est en grande partie indépendante de polluants tels que eau et particules. Ainsi, aucune disposition particulière n'est prévue pour en tenir compte, pourvu que leurs concentrations n'excèdent pas les valeurs limites d'utilisation du liquide.

3. Documents de référence

Publications de la CEI:

- 52 (1960): Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre).
- 60-1 (1973): Techniques des essais à haute tension, Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais.
- 60-2 (1973): Deuxième partie: Modalités d'essais.
- 60-3 (1976): Troisième partie: Dispositifs de mesure.
- 60-4 (1977): Quatrième partie: Guide d'application des dispositifs de mesure.
- 71-1 (1976): Coordination de l'isolement. Première partie: Termes, définitions, principes et règles.
- 71-2 (1976): Deuxième partie: Guide d'application.
- 156 (1963): Méthode pour la détermination de la rigidité électrique des huiles isolantes.
- 475 (1974): Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides.

Normes ISO:

- 2854 (1976): Interprétation statistique des données — Techniques d'estimation et tests portant sur des moyennes et des variances.
- 3534 (1977): Statistique — Vocabulaire et symboles.
- 5725 (1986): Fidélité des méthodes d'essai — Détermination de la répétabilité et de la reproductibilité par essais interlaboratoires.

4. Appareillage

4.1 Générateur de choc

Le générateur de choc doit fournir une onde pleine normale 1,2/50, de polarité négative ou positive, conformément à la Publication 60-1 de la CEI, avec la précision définie dans la Publication 60-2 de la CEI ; en particulier, il est nécessaire que la mesure de tension de crête soit obtenue à $\pm 3\%$. La tension nominale du générateur doit être au moins de 300 kV et des énergies de sorties comprises entre 0,1 kJ et 20 kJ sont convenables.

4.2 Réglage de la tension de choc

Cette opération est très importante. Il convient donc de prédéterminer la tension de crête à 1% près, au moyen d'un groupe de charge à commande manuelle ou, mieux, à l'aide de dispositifs de déclenchement automatique dont la précision de réglage est de $\pm 0,5\%$.

fundamental role in determining the negative impulse breakdown properties.

Highly divergent field geometries, as used in the methods described, are therefore necessary to differentiate composition effects in insulating liquids.

- 2.4 Impulse breakdown voltage depends on wave front duration. Consequently, the methods described specify only the standard full impulse wave (1.2/50).
- 2.5 Unlike power frequency breakdown voltage (IEC Publication 156), the point-to-sphere impulse breakdown is largely independent of such contaminants as moisture and particles. Accordingly, no specific provisions are made to control these contaminants, provided their concentrations do not exceed the serviceability limits of the liquid.

3. Documents referred to

IEC Publications:

- 52 (1960): Recommendations for Voltage Measurement by means of Sphere-gaps (One Sphere Earthed).
- 60-1 (1973): High-voltage Test Techniques, Part 1: General Definitions and Test Requirements.
- 60-2 (1973): Part 2: Test Procedures.
- 60-3 (1976): Part 3: Measuring Devices.
- 60-4 (1977): Part 4: Application Guide for Measuring Devices.
- 71-1 (1976): Insulation Co-ordination, Part 1: Terms, Definitions, Principles and Rules.
- 71-2 (1976): Part 2: Application Guide.
- 156 (1963): Method for the Determination of the Electric Strength of Insulating Oils.
- 475 (1974): Method of Sampling Liquid Dielectrics.

ISO Standards:

- 2854 (1976): Statistical Interpretation of Data — Techniques of Estimation and Tests relating to Means and Variances.
- 3534 (1977): Statistics—Vocabulary and Symbols.
- 5725 (1986): Precision of Test Methods—Determination of Repeatability and Reproducibility by Interlaboratory Tests.

4. Apparatus

4.1 *Impulse generator*

The impulse generator shall be capable of producing a standard 1.2/50 full wave, adjustable to positive or negative polarity in accordance with IEC Publication 60-1 and with accuracy as defined in IEC Publication 60-2; in particular, measurement to within $\pm 3\%$ of the crest voltage is necessary. The generator shall have a voltage rating of at least 300 kV and output energies in the range of 0.1 kJ to 20 kJ are appropriate.

4.2 *Adjustment of impulse voltage*

This operation is very important. The crest voltage should therefore be predetermined to within 1% by a manual control charging apparatus or, preferably, by means of an automatically triggered apparatus with a regulating accuracy of $\pm 0.5\%$.

4.3 *Mesurage de la tension de choc*

Il est conseillé d'effectuer ce mesurage suivant les Publications 60-3 et 60-4 de la CEI. Il est recommandé d'utiliser un diviseur de tension résistif, calibré avec précision et un voltmètre de crête, de préférence à un oscilloscope. Cependant, on peut accepter l'étalonnage du système de mesurage à l'éclateur à sphère, selon la Publication 52 de la CEI. L'erreur sur la mesure de la valeur de la tension de crête devrait dans ce cas être connue et ne pas dépasser 3%.

4.4 *Conception de la cellule d'essai*

4.4.1 La cellule se compose d'un récipient contenant l'éclateur vertical comme illustré à titre d'exemple à la figure 1, page 26. Le volume du liquide dans cette cellule est de l'ordre de 300 ml.

Les parties métalliques doivent être limitées aux électrodes et à leurs supports.

4.4.2 Il est conseillé de concevoir la cellule d'essai de façon à faciliter son démontage et à permettre un nettoyage à fond. Ses dimensions devraient lui assurer une tension de contournement d'au moins 250 kV.

4.4.3 Les matériaux constituant la cellule ont une rigidité électrique élevée, sont thermiquement stables jusqu'à des températures de 80 °C, compatibles avec le liquide isolant en essai et résistants aux solvants et produits de nettoyage ordinairement utilisés pour ces liquides.

4.4.4 L'éclateur est composé de deux électrodes formant un système réglable pointe-sphère. L'électrode sphérique est en acier poli et peut être une bille de roulement de 12,5 mm à 13 mm de diamètre. Cette bille est fixée à l'aide d'un aimant. L'électrode-pointe est une aiguille de phonographe d'extrémité conique et dont le rayon de courbure est de l'ordre de 40 µm à 70 µm. Il est conseillé de vérifier au microscope la forme de l'aiguille et ce rayon de courbure; l'annexe B donne une méthode de détermination du rayon de courbure.

5. **Echantillonnage du liquide**

Les échantillons du liquide isolant à essayer doivent être prélevés suivant la Publication 475 de la CEI.

6. **Préparation et entretien de la cellule**

6.1 *Nettoyage de la cellule*

Toutes les pièces de la cellule, y compris l'électrode sphérique et l'aiguille de phonographe sont dégraissées à l'heptane pur de qualité pour analyse, lavées avec un détergent et rincées abondamment à l'eau chaude du robinet puis à l'eau distillée.

Il convient de sécher les pièces à l'air comprimé déshydraté et déshuilé et de les conserver dans un dessiccateur jusqu'à leur emploi.

6.2 *Emploi quotidien*

La cellule préparée comme indiqué au paragraphe 6.1 est prête pour les essais. Avant d'essayer un nouvel échantillon, refaire le nettoyage précédent en utilisant un solvant convenable.

Tant que les essais sont effectués sur le même échantillon, il suffit de rincer la cellule avec le liquide, entre chaque remplissage.

7. **Préparation de l'essai**

7.1 Rincer complètement la cellule d'essai et les électrodes avec l'échantillon du liquide. La remplir lentement en s'assurant qu'il n'y a pas de bulles d'air. Laisser reposer le liquide au moins 5 min avant de procéder à l'essai.

4.3 *Impulse voltage measurement*

The impulse voltage measurement should be carried out as laid down by IEC Publications 60-3 and 60-4. An accurately calibrated resistive voltage divider and a crest voltmeter are recommended in preference to an oscilloscope. However, calibration of the measuring system by sphere-gap in accordance with IEC Publication 52 is acceptable. The error in measurement of the crest value of the impulse voltage should be known and should not exceed 3%.

4.4 *Test-cell design*

- 4.4.1 The cell consists of a vessel containing a vertical gap as shown for example in Figure 1, page 26. The volume of liquid in this cell is of the order of 300 ml.

Metal parts shall be restricted to electrodes and their supports.

- 4.4.2 The test-cell should be designed for ease of dismantling and thorough cleaning. Dimensions should ensure a flashover voltage of at least 250 kV.

- 4.4.3 Insulating materials used in the cell shall be of high dielectric strength, thermally stable for temperatures up to 80 °C, compatible with insulating liquids to be tested, and resistant to solvents and cleaning agents commonly used for these liquids.

- 4.4.4 The gap shall be composed of two electrodes forming an adjustable point-to-sphere configuration. The spherical electrode shall be of polished steel and may consist of a bearing ball 12.5 mm to 13 mm in diameter. This ball is held in place by a magnet. The point electrode shall be a gramophone needle, with a conical tip having a radius of curvature in the range 40 µm to 70 µm. The shape of the needle and the radius of curvature should be checked using a microscope; Appendix B gives a method for measuring the radius of curvature.

5. **Sampling of the liquid**

Samples of the insulating liquid to be tested shall be taken in accordance with IEC Publication 475.

6. **Preparation and maintenance of the cell**

6.1 *Cell cleaning*

All parts of the cell, including the spherical electrode and gramophone needle, shall be de-greased with reagent-grade heptane, washed with detergent, rinsed thoroughly with hot tap-water and then with distilled water.

The parts should then be dried with oil-free dehydrated compressed air, and kept in a desiccator until required.

6.2 *Daily use*

The cell prepared as described in Sub-clause 6.1 is ready for the tests. Before testing a new sample, repeat the prescribed cleaning using an appropriate solvent.

As long as the tests are applied to the same sample, rinsing out with the liquid between each filling is adequate.

7. **Preparation of test**

- 7.1 Rinse the cell and electrodes thoroughly with the sample liquid. Fill the test-cell, slowly, making sure that there are no gas bubbles. Allow the liquid to settle for at least 5 min before testing.

7.2 *Ecartement des électrodes*

Mettre les électrodes en contact avec précaution, contact que l'on vérifie à l'ohmmètre, puis déplacer l'une des électrodes de l'écartement voulu en utilisant une vis micrométrique, un système hélicoïdal ou une jauge d'épaisseur. L'écartement des électrodes doit être ajusté aux valeurs définies au paragraphe 8.1.2, avec une tolérance de 0,1 mm.

- 7.3 Mettre à la terre l'électrode sphérique; la connexion doit être aussi courte que possible. La tension de sortie du générateur de choc est appliquée à l'électrode-pointe; il faut éviter avec soin d'avoir une trop grande connexion.
- 7.4 Il est conseillé, au moment de l'essai, que la température de l'échantillon soit en équilibre avec celle du local; cette température est convenable entre 15 °C et 30 °C. Noter la température de l'essai.

8. **Procédures d'essai**

8.1 *Méthode A — Essai par échelons*

8.1.1 *Principe*

On applique des tensions de choc de foudre normal 1,2/50, de valeurs de crête croissantes, à l'échantillon de liquide, en utilisant un système d'électrodes pointe-sphère, jusqu'au claquage. On effectue cinq mesures et leur moyenne est considérée comme la tension de claquage au choc de foudre du liquide essayé.

La valeur initiale de la tension d'essai, l'accroissement de la tension et l'écartement des électrodes dépendent de la valeur de la tension de claquage du liquide essayé.

8.1.2 *Procédure*

- a) Préparer la cellule d'essai selon l'article 7.
- b) A partir du tableau I, choisir la valeur initiale appropriée (U_i) de la tension d'essai, l'échelon de tension et l'écartement des électrodes qui découlent de la tension de claquage espérée (U_e), pour l'écartement de 15 mm.
- c) Appliquer un choc (de polarité choisie) à la tension initiale choisie, puis augmenter cette tension par échelons jusqu'au claquage. On doit appliquer un choc et un seul, à chaque niveau de tension, en attendant au minimum 1 min entre deux chocs successifs.
- d) La procédure décrite aux points a), b), c) est répétée pour obtenir cinq valeurs de claquage du liquide essayé. Après chaque claquage, l'électrode pointe est remplacée et l'électrode sphérique changée de position. Ensuite poursuivre suivant les paragraphes 7.1 et 7.2. L'électrode sphérique doit être remplacée tous les cinq claquages.
- e) Pour que l'essai soit valide, il faut que l'échantillon essayé supporte au moins trois niveaux de tensions sans claquage. Si le claquage a lieu avant, refaire l'essai en commençant à une tension initiale inférieure, de 5 kV ou 10 kV selon le cas.
- f) Noter la valeur de crête prévue du choc au cours duquel le claquage s'est produit comme étant la tension de claquage nominale.
- g) Si la tension de claquage d'un liquide en essai ne peut être prévue, déterminer une valeur approximative de U_e en suivant les points a) et c), pour une distance de 15 mm, une tension initiale de 50 kV et un échelon de tension de 10 kV. Poursuivre ensuite du point a) au point f).

Si, à 15 mm, l'on ne peut obtenir un claquage à une tension inférieure de contournement de la cellule (environ 250 kV), diminuer l'écartement de l'éclateur jusqu'à 10 mm ou 5 mm si nécessaire.

7.2 Electrode spacing

Gently set the electrodes in contact, checking contact with an ohmmeter; then displace one of the electrodes to the desired spacing value using a dial micrometer, a helical device or a thickness gauge. The gap spacing shall be adjusted to the values defined in Sub-clause 8.1.2, with a tolerance of 0.1 mm.

- 7.3 Earth the spherical electrode; the connection shall be as short as possible. The impulse generator output shall be applied to the point electrode and care must be taken to avoid too large a connection loop.
- 7.4 The temperature of the sample when tested should be the same as the temperature of the test-room; a room temperature between 15 °C and 30 °C is appropriate. Record the test temperature.

8. Test procedures

8.1 Method A—Step test

8.1.1 Principle

1.2/50 standard lightning impulse voltages of increasing crest value are applied to the liquid specimen using a point-to-sphere electrode system until breakdown occurs. Five measurements are carried out and their average is taken as the lightning impulse breakdown voltage of the liquid tested.

The initial value of the test voltage, the voltage step and the electrode spacing depend on the breakdown voltage value of the liquid tested.

8.1.2 Procedure

- Prepare the test-cell as described in Clause 7.
- From Table I, select the appropriate initial value of the test voltage (U_i) voltage step and gap spacing, based on the expected breakdown (U_e) at 15 mm gap spacing.
- Apply one impulse (of the selected polarity) at the initial selected voltage and then increase the voltage in steps until breakdown occurs. One impulse shall be applied at each voltage level, allowing a minimum of 1 min. between two successive impulses.
- The procedure as described in Items a), b), c) shall be repeated until five breakdown values have been obtained for the liquid tested. After each breakdown the point electrode is changed and the sphere electrode rotated, then follow Sub-clause 7.1 and 7.2. The sphere electrode shall be changed every five breakdowns.
- For the test to be valid, the test sample shall withstand a minimum of three levels before breakdown occurs. If breakdown occurs before, repeat the test with a lower initial voltage, 5 kV or 10 kV according to the case.
- Note the prospective crest value of the impulse during which the breakdown occur as the nominal breakdown voltage.
- When the breakdown voltage of a liquid under test cannot be anticipated determine U_e following Items a) and c), using a gap of 15 mm, a starting voltage of 50 kV and a voltage step of 10 kV. Then continue as in Item a) to f).

If breakdown at 15 mm cannot be obtained below the flashover voltage of the cell (about 250 kV) decrease the gap spacing to 10 mm or, if necessary, 5 mm.

TABLEAU I

Sélection de la tension initiale et de la distance

Tension estimée à 15 mm (U_e (kV))	$50 \leq U_e \leq 100$	$100 < U_e \leq 250$	$U_e > 250$
Distance (mm)	$25 \pm 0,1$	$15 \pm 0,1$	$10 \pm 0,1$
Tension initiale (U_i (kV))	$1,5 U_e - 25$	$U_e - 50$	150
Echelon de tension (kV)	5	5	10

8.1.3 Fidélité

La fidélité d'une méthode d'essai est caractérisée par sa répétabilité r et sa reproductibilité R (voir Norme ISO 5725). Le tableau II donne ces valeurs dans le cas particulier d'huiles isolantes minérales, essayées suivant la méthode A.

TABLEAU II

Répétabilité et reproductibilité de la méthode d'essai A pour l'huile minérale de transformateur

Polarité des chocs	r (%)	R (%)
négative	7	10
positive	15	30

Notes 1. — Les valeurs de r et R sont exprimées en pourcentage de la tension de claquage moyenne.

2. — Les valeurs données dans le tableau II sont déterminées à partir de résultats d'essais menés sur trois huiles isolantes minérales par sept laboratoires.

Si la méthode est correctement appliquée, il y a une probabilité de 5% pour que la différence entre deux «résultats individuels» (voir note) obtenus à partir de deux essais effectués sur la même huile, dans les mêmes conditions (même opérateur, même appareil, même laboratoire et court intervalle de temps), puisse excéder 7% de U dans le cas de chocs négatifs et 15% de U dans le cas de chocs positifs, U étant la moyenne des deux résultats.

Si deux «résultats individuels» sont obtenus à partir d'essais menés sur la même huile, mais sous différentes conditions (différents opérateurs, différents appareils, différents laboratoires), il y a une probabilité de 5% pour que la différence entre deux résultats puisse excéder 10% de U dans le cas de chocs négatifs et 30% de U dans le cas de chocs positifs.

Si la différence entre les deux résultats dépasse les valeurs données au tableau II, une intervention supplémentaire est souhaitée, par exemple vérifier l'appareillage et répéter les essais.

Note. — Un «résultat individuel» est la moyenne de cinq tensions de claquage ainsi qu'il est spécifié dans le paragraphe 8.1.1.

8.2 Méthode B — Test progressif

8.2.1 Principe

L'expérience montre que, lorsque l'on applique à la cellule d'essai un choc de foudre de valeur de crête proche de la tension de claquage mesurée suivant la méthode A, un claquage peut ou non se produire. On est ainsi conduit à introduire la notion de probabilité de claquage P , fonction de U mais de valeur inconnue. Le test progressif permet de comparer cette probabilité de claquage à une valeur arbitraire P_0 et de tester l'hypothèse:

$H_0: P \leq P_0$, dite hypothèse nulle,
contre l'hypothèse alternative $H_1: P > P_0$ (voir annexe A).

TABLE I
Selection of initial voltage and gap

Expected voltage at 15 mm (U_e (kV))	$50 \leq U_e \leq 100$	$100 < U_e \leq 250$	$U_e > 250$
Gap (mm)	25 ± 0.1	15 ± 0.1	10 ± 0.1
Initial voltage (U_i (kV))	$1.5 U_e - 25$	$U_e - 50$	150
Step voltage (kV)	5	5	10

8.1.3 Precision

The precision of a test method is characterized by its repeatability r and its reproducibility R (see ISO Standard 5725). These latter values for mineral insulating oils only, tested according to method A are given in Table II.

TABLE II
Repeatability and reproducibility of test method A for mineral transformer oil

Polarity of the impulses	r (%)	R (%)
negative	7	10
positive	15	30

Notes 1. — The values of r and R are expressed in per cent of the mean breakdown voltage.

2. — The values given in Table II are determined from results of tests performed on three different mineral insulating oils by seven laboratories.

When the method is correctly applied there is 5% probability that the difference between two "single results" (see note) obtained from two tests performed on the same oil under the same conditions (same operator, same apparatus, same laboratory and short interval of time), will exceed 7% of U in the case of negative impulses and 15% of U in the case of positive impulses, U being the average of the two results.

When two "single results" are obtained from tests performed on the same oil but under different conditions (different operators, different apparatus, different laboratories), there is 5% probability that the difference between two results will exceed 10% of U in the case of negative impulses and 30% of U in the case of positive impulses.

If the difference between the two results exceeds the value given in Table II, further action is required, for example verification of the apparatus and repetition of the tests.

Note. — A "single result" is the average of five breakdown voltages as specified in Sub-clause 8.1.1.

8.2 Method B—Sequential test

8.2.1 Principle

Experience shows that when an impulse wave is applied to the test-cell at a crest level close to the breakdown voltage measured by method A a breakdown may or may not occur. Thus the notion of breakdown probability P , which is a function of U but of unknown value, should be introduced. The sequential test permits the comparison of this breakdown probability with an arbitrary value P_0 and the testing hypothesis:

$H_0: P \leq P_0$, called the null hypothesis,
against the alternative hypothesis $H_1: P > P_0$ (see Appendix A).

La méthode consiste à appliquer une succession de chocs de foudre de valeur de crête constante, jusqu'au claquage, en plaçant les résultats sur un graphique de décision (voir annexe A et figure 2, page 27).

Le test progressif se poursuit jusqu'à ce que l'on puisse prendre une décision et, si aucune décision ne peut être prise, on arrête le test quand un nombre de chocs de foudre appliqué, fixé à l'avance, est dépassé.

8.2.2 Procédure

- a) Construire le graphe de décision à partir des valeurs convenables de P_0 et des paramètres définis dans l'annexe A.
- b) Choisir une valeur de crête U_0 de la tension de choc de foudre et régler le générateur de choc (voir note 1).
- c) Préparer la cellule d'essai comme décrit à l'article 7, l'écartement des électrodes étant fixé à la valeur désirée.
- d) Appliquer le premier choc de polarité et de valeur de crête choisie. S'il n'y a pas de claquage, attendre 1 min avant d'appliquer un autre choc, puis continuer ainsi jusqu'au claquage.
- e) A chaque claquage, changer l'aiguille, faire tourner la bille, remplir à nouveau la cellule et recommencer la procédure. Changer de bille tous les cinq claquages.
- f) Porter chaque choc et chaque claquage sur le graphe de décision (figure 2).
- g) Tant que le tracé reste dans la zone délimitée par les droites D_1 et D_2 (voir annexe A), aucune décision ne peut être prise, il faut poursuivre le test (voir note 2).

Si le tracé coupe la droite D_1 , l'hypothèse nulle H_0 est acceptée: $P \leq P_0$.

Si le tracé coupe la droite D_2 , l'hypothèse nulle H_0 est refusée: $P > P_0$.

Notes 1. — Le niveau U_0 de la tension d'essai peut être choisi deux échelons en dessous de la tension de claquage moyenne trouvée par la méthode A.

2. — Si après 85 chocs aucune décision ne peut être prise, il convient de refaire le test à un niveau inférieur de 5 kV ou 10 kV.

9. Rapport d'essai

Le rapport d'essai mentionne les points suivants:

- 9.1 Numéro de cette publication et méthode appliquée.
- 9.2 Identification et préparation de l'échantillon.
- 9.3 Ecartement des électrodes.

9.4 Méthode A

Niveau de la tension de crête initiale, polarité et échelon de tension.

Tension de choc de chaque claquage.

Tension moyenne de claquage.

Ecart type.

9.5 Méthode B

Niveau de la tension de crête et polarité.

Paramètres statistiques choisis.

Graphe de décision et tracé des résultats.

The method consists in applying a sequence of impulses of constant crest value until breakdown occurs, and plotting the results on a ruling graph (see Appendix A and Figure 2, page 27).

The sequential test is carried on until a decision can be made; if no decision is possible the test will be terminated when a predetermined number of impulses is exceeded.

8.2.2 Procedure

- a) Draw the ruling graph for the appropriate values of P_0 and the parameters defined in Appendix A.
- b) Select a crest value U_0 for the impulse voltage and set the impulse generator (see Note 1).
- c) Prepare the test-cell as described in Clause 7, and set the electrode spacing to the desired value.
- d) Apply the first impulse of selected polarity and crest value. If there is no breakdown, wait 1 min. before applying another impulse, and then continue with further impulses until breakdown occurs.
- e) Whenever a breakdown occurs, change the point electrode, rotate the sphere electrode, refill the cell, and continue the procedure. Change the sphere electrode every five breakdowns.
- f) Plot each impulse and corresponding breakdown on the ruling graph (Figure 2).
- g) As long as the plot is within the area limited by the D_1 and D_2 lines (see Appendix A), no decision can be taken and the test must be continued (see Note 2).

If the plot intersects line D_1 , the null hypothesis H_0 is accepted: $P \leq P_0$.

If the plot intersects line D_2 , the null hypothesis H_0 is rejected: $P > P_0$.

Notes 1. — The test voltage U_0 may be chosen two voltage steps below the mean breakdown value found by method A.

2. — If after 85 impulses no decision can be made the test should be repeated at a level 5 kV or 10 kV lower.

9. Report

The report shall include the following items:

- 9.1 The number of this publication and the method applied.
- 9.2 Sample identification and preparation.
- 9.3 Gap spacing.
- 9.4 *Method A*

Starting voltage crest level, polarity and voltage step.

Impulse voltage for each breakdown.

Mean breakdown voltage.

Standard mean deviation.

9.5 *Method B*

Voltage crest level and polarity.

Selected statistical parameters.

Ruling graph and plot of results.

ANNEXE A

TEST PROGRESSIF DE COMPARAISON DE LA PROBABILITÉ DE CLAQUAGE DES DIÉLECTRIQUES LIQUIDES À UNE VALEUR NORMALISÉE

CONSTRUCTION D'UN GRAPHE DE DÉCISION

A1. Introduction

Cette annexe expose dans ses grandes lignes le principe du test progressif et donne les instructions pour tracer le graphe de décision. On se reportera à l'ouvrage «Sequential Analysis» de Abraham WALD (John Wiley and Sons Inc. Editor) pour un exposé complet de l'analyse progressive.

A2. Liste des symboles employés

Les symboles utilisés sont en conformité avec les définitions de la Norme ISO 3534.

$P(U)$ ou P	= Probabilité de claquage au choc de foudre normal d'un diélectrique liquide pour une valeur U de la tension d'essai (voir note).
P_0	= Probabilité de claquage arbitrairement fixée qui peut être retenue comme critère de qualité.
P_1	= Probabilité de claquage inférieure à P_0 , dont la valeur est choisie pour tenir compte de la précision de la tension d'essai appliquée.
P_2	= Probabilité de claquage supérieure à P_0 et choisie pour les mêmes raisons que précédemment.
H_0	= Hypothèse nulle: $P \leq P_0$.
H_1	= Hypothèse alternative — Hypothèse que l'on oppose à l'hypothèse nulle, soit: $P > P_0$.
α	= Risque maximal de rejeter H_0 alors que $P \leq P_1$.
β	= Risque maximal d'accepter H_0 alors que $P \geq P_2$.
n	= Nombre de chocs appliqués.
d_n	= Nombre de claquages observés après l'application de n chocs.
A_n	= Indice d'acceptation.
R_n	= Indice de refus.

Note. — P est dans tous les cas inconnu; l'objet du test progressif n'est pas de déterminer cette probabilité, ce qui exigerait des essais trop longs, mais de la comparer à une valeur fixée P_0 , par une procédure accélérée qui donne une information de tenue électrique, satisfaisante pour la pratique industrielle.

A3. Un test statistique est une règle qui permet de prendre une décision, associée à des risques d'erreur, à partir de résultats expérimentaux. Il nécessite de définir l'hypothèse à contrôler H_0 et d'utiliser une fonction de ces résultats, représentée dans le cas présent par les points (d_n, n) du graphe de décision.

Dans le cas particulier du test progressif, la fonction des résultats expérimentaux prend des valeurs dans trois sous-ensembles de l'ensemble de ces résultats et s'excluant l'un l'autre, définissant au fur et à mesure de la progression du test soit l'acceptation de H_0 , soit le rejet de H_0 , soit la poursuite du test.

APPENDIX A

SEQUENTIAL TEST FOR COMPARISON OF THE BREAKDOWN PROBABILITY
OF LIQUID DIELECTRICS WITH A STANDARD VALUE

CONSTRUCTION OF A RULING GRAPH

A1. Introduction

This appendix outlines the principle of sequential test and provides instructions on the way the ruling graph is constructed. For a complete statement of sequential analysis see "Sequential Analysis" by Abraham WALD (J. Wiley and Sons Inc. Editor).

A2. List of symbols

The symbols employed are consistent with the definitions of International Standard ISO 3534.

$P(U)$ or P = Breakdown probability under standard lightning impulse of a dielectric liquid for a given value of the test voltage U (see note).

P_0 = Arbitrary fixed breakdown probability which may be related to accepted quality criteria.

P_1 = Breakdown probability lower than P_0 , the value of which is chosen to take into account the precision of the test voltage applied.

P_2 = Breakdown probability higher than P_0 and chosen for the same reasons as before.

H_0 = Null hypothesis: $P \leq P_0$.

H_1 = Alternative hypothesis. The hypothesis which is opposed to the null hypothesis, that is to say $P > P_0$.

α = Maximum risk of rejecting H_0 when $P \leq P_1$.

β = Maximum risk of accepting H_0 when $P \geq P_2$.

n = Number of impulses applied.

d_n = Number of breakdowns observed after n impulses have been applied.

A_n = Acceptance number.

R_n = Rejection number.

Note. — In every case P is unknown and the aim of the sequential test is not to determine this probability which would take too long tests, but to compare it with a fixed value P_0 with an accelerated procedure giving information as to satisfactory withstand levels in industrial practice.

- A3. A statistical test is a rule permitting decision-making with accepted error risks from experimental results. It needs the definition of the hypothesis H_0 to be tested and the use of a function of these results given in this case by the points (d_n, n) in the ruling graph.

In the particular case of the sequential test, the function of the experimental results takes values in three mutually exclusive subsets of the set of these results, defining as the test proceeds either the acceptance of H_0 or the rejection of H_0 or the continuation of the test.

- A4. Soit P_0 une valeur arbitraire. Pour une valeur U de la tension d'essai, on désire tester l'hypothèse H_0 : $P \leq P_0$ contre l'hypothèse alternative H_1 : $P > P_0$.

Pour tenir compte de considérations pratiques, on se fixe une valeur P_1 inférieure à P_0 et un risque d'erreur α , tels que la probabilité de rejeter H_0 , alors que $P \leq P_1$, soit inférieure ou égale à α .

De même, on se fixe une valeur P_2 supérieure à P_0 et un risque d'erreur β tels que la probabilité d'accepter H_0 , alors que $P \geq P_2$, soit inférieure ou égale à β .

- A5. Soit L le rapport de vraisemblance $L = L_2/L_1$ où L_1 est la probabilité d'obtenir un certain ensemble de valeurs observées quand $P = P_1$ et L_2 la probabilité d'obtenir un certain ensemble de valeurs observées quand $P = P_2$.

Le test progressif consiste à calculer L à chaque observation et à suivre les règles de décision suivantes:

Si $L \leq A$, on accepte H_0

Si $L \geq R$, on rejette H_0

Si $A < L < R$, on poursuit l'expérience en faisant une observation supplémentaire.

A et R sont choisis de telle façon que la probabilité de refuser H_0 quand $P = P_1$ soit α et la probabilité d'accepter H_0 quand $P = P_2$ soit β .

Un calcul approché montre que l'on peut prendre pour cela:

$$A = \beta / (1 - \alpha)$$

$$R = (1 - \beta) / \alpha$$

Pour résumer, si $P \leq P_1$ la probabilité de refuser H_0 est toujours inférieure ou égale à α et si $P \geq P_2$ la probabilité d'accepter H_0 est toujours inférieure ou égale à β .

- A6. La probabilité L_1 que d_n claquages se produisent, au cours de l'application de n chocs, si $P = P_1$ est:

$$L_1 = \binom{n}{d_n} P_1^{d_n} (1 - P_1)^{n-d_n}$$

La probabilité L_2 que d claquages se produisent, au cours de l'application de n chocs, si $P = P_2$ est:

$$L_2 = \binom{n}{d_n} P_2^{d_n} (1 - P_2)^{n-d_n}$$

Le rapport de vraisemblance est donc:

$$L = P_2^{d_n} (1 - P_2)^{n-d_n} / P_1^{d_n} (1 - P_1)^{n-d_n}$$

Supposons qu'après n chocs la condition $L \leq A$ soit satisfaite, alors:

$$P_2^{d_n} (1 - P_2)^{n-d_n} / P_1^{d_n} (1 - P_1)^{n-d_n} \leq \beta / (1 - \alpha)$$

L'expression ci-dessus conduit à la solution suivante du nombre de décharges d_n : $d_n \leq h_1 + sn$ où h_1 et s sont des constantes données par les expressions ci-après:

$$h_1 = \log \frac{\beta}{1 - \alpha} / \left(\log \frac{P_2}{P_1} - \log \frac{1 - P_2}{1 - P_1} \right)$$

$$s = \log \frac{1 - P_2}{1 - P_1} / \left(\log \frac{P_2}{P_1} - \log \frac{1 - P_2}{1 - P_1} \right)$$

- A4. Let P_0 be an arbitrary value. We wish to test the hypothesis $H_0: P \leq P_0$ against the alternative hypothesis $H_1: P > P_0$ at a value U of the test voltage applied.

For practical considerations a value P_1 lower than P_0 and an error risk α are fixed such that the probability of rejecting H_0 when $P \leq P_1$ is lower or equal to α .

Likewise a value P_2 higher than P_0 and an error risk β are fixed such that the probability of accepting H_0 when $P \geq P_2$ is lower or equal to β .

- A5. Let L be the likelihood ratio defined as $L = L_2/L_1$ where L_1 is the probability of obtaining a set of observed values with $P = P_1$ and L_2 is the probability of obtaining a set of observed values with $P = P_2$.

The sequential test consists in calculating L at any stage of the experiment and in taking the following decision rules:

If $L \leq A$, H_0 is accepted

If $L \geq R$, H_0 is rejected

If $A < L < R$, the experiment is continued by making an additional observation.

A and R are chosen in such a way that the probability of rejecting H_0 when $P = P_1$ is α and the probability of accepting H_0 when $P = P_2$ is β .

An approximate calculation shows that:

$$A = \beta / (1 - \alpha)$$

$$R = (1 - \beta) / \alpha$$

To summarize, if $P \leq P_1$ the probability of rejecting H_0 is always lower or equal to α and if $P \geq P_2$ the probability of accepting H_0 is always lower or equal to β .

- A6. The probability L_1 that d_n breakdowns would occur in n impulse applications with $P = P_1$ is:

$$L_1 = \binom{n}{d_n} P_1^{d_n} (1 - P_1)^{n-d_n}$$

The probability L_2 that d breakdowns would occur in n impulse applications with $P = P_2$ is:

$$L_2 = \binom{n}{d_n} P_2^{d_n} (1 - P_2)^{n-d_n}$$

Therefore the likelihood ratio is:

$$L = P_2^{d_n} (1 - P_2)^{n-d_n} / P_1^{d_n} (1 - P_1)^{n-d_n}$$

Suppose that after n impulses the conditions $L \leq A$ is fulfilled then:

$$P_2^{d_n} (1 - P_2)^{n-d_n} / P_1^{d_n} (1 - P_1)^{n-d_n} \leq \beta / (1 - \alpha)$$

The above expression yields the following solution for the observed number of discharges d_n : $d_n \leq h_1 + sn$ where h_1 and s are constants defined by the following expressions:

$$h_1 = \log \frac{\beta}{1 - \alpha} / \left(\log \frac{P_2}{P_1} - \log \frac{1 - P_2}{1 - P_1} \right)$$

$$s = \log \frac{1 - P_2}{1 - P_1} / \left(\log \frac{P_2}{P_1} - \log \frac{1 - P_2}{1 - P_1} \right)$$

Soit:

$$A_n = h_1 + sn \quad (1)$$

Si $d_n \leq A_n$ la condition $L \leq A$ est remplie et l'hypothèse nulle H_0 est acceptée. En conséquence, on peut appeler A_n : indice d'acceptation.

- A7. Supposons maintenant qu'après n chocs, la condition $L \geq R$ soit remplie. En suivant la même façon de procéder que ci-dessus, on obtient l'expression suivante pour d_n : $d_n \geq h_2 + sn$, où s a la même signification que précédemment et où h_2 est donnée par:

$$h_2 = \log \frac{1-\beta}{a} / \left(\log \frac{P_2}{P_1} - \log \frac{1-P_2}{1-P_1} \right)$$

$$\text{Soit: } R_n = h_2 + sn \quad (2)$$

Si $d_n \geq R_n$ la condition $L \geq R$ est remplie et l'hypothèse nulle H_0 est rejetée. En conséquence, on peut appeler R_n indice de refus.

- A8. Dans le plan de coordonnées n, d , le résultat du test après n chocs, peut être représenté par le point (n, d_n) . A_n et R_n (voir (1) et (2) ci-dessus) sont les équations de deux droites parallèles (D_1) et (D_2), respectivement, qui divisent le plan en trois zones (voir graphe de décision, figure 2, page 27).

Si le point (n, d_n) se trouve dans la zone inférieure à la droite (D_1), H_0 est accepté et si ce point est dans la zone au-dessus de la droite (D_2), H_0 est refusé. Si le point se trouve entre les deux droites, aucune décision ne peut être prise et on applique un autre choc.

- A9. Le graphe de décision présenté à la figure 2 est un exemple obtenu à partir des valeurs suivantes:

$$P_0 = 10\%; P_1 = 5\%; P_2 = 15\%; a = 5\% \text{ et } \beta = 1\%.$$

- A10. A la différence du test statistique classique, le test progressif équivalent n'exige pas qu'un nombre d'essais déterminé à l'avance soit obtenu. Le nombre d'essais est une variable aléatoire qui est, en moyenne, plus petit que le nombre d'essais qu'exigerait le test statistique classique équivalent.

De plus, on démontre que la probabilité que le test progressif se poursuive indéfiniment est nulle. Cependant, pour ne pas prolonger l'essai, il est possible de fixer une limite au processus en appliquant soit une règle de troncature, soit en suivant la décision du paragraphe 8.2.2.