

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers above a rated voltage
of 52 kV**

**Appareillage à haute tension –
Partie 310: Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension assignée
supérieure à 52 kV**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

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

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

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

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers above a rated voltage
of 52 kV**

**Appareillage à haute tension –
Partie 310: Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension
assignée supérieure à 52 kV**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

S

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Test procedure	6
4.1 General explanation to the extended electrical endurance test programme.....	7
4.2 Extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests.....	10
4.3 Extended electrical endurance qualification combined with type tests.....	12
Annex A (informative) Explanatory notes	14
Bibliography.....	21
Figure A.1 – Estimated number of equivalent T60 stresses for various rated voltages and rated short-circuit breaking currents.....	18
Table 1 – Correlation between capacitive voltage factors used for standard capacitive type tests and capacitive voltage factors to be used for extended electrical endurance capacitive current acceptance tests	9
Table 2 – Test sequence and criteria for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests.....	10
Table 3 – Test conditions for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests.....	11
Table 4 – Equivalent number of breaking operations.....	12
Table 5 – Defined number M_{90} of number of T60 tests combined with type testing.....	12
Table 6 – Example of combination of type test with E2 test for a 50 kA circuit-breaker in synthetic test.....	13
Table A.1 – List of countries involved in the data collection	15
Table A.2 – Used reference data	16
Table A.3 – Number of breaking operations in various ranges of interrupted current in service during 25 years.....	18
Table A.4 – Estimated number M_{99} of T60 breaking operations to cover 99 % of field stresses.....	19

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –**Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers
above a rated voltage of 52 kV**

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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC/TR 62271-310, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This second edition of IEC/TR 62271-310 cancels and replaces the first edition published in 2004. This edition constitutes a technical revision.

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

- reduction of number tests in the wear stage;

- new definition of acceptance test for demonstration of end-of-life thermal interruption capability.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
17A/803/DTR	17A/814/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report 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.

A list of all parts of IEC 62271 series, under the general title *High-voltage switchgear and controlgear* can be found on the IEC website.

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.

INTRODUCTION

Based on experience with existing high-voltage circuit-breakers in service and with system protection and maintenance policies, the majority of circuit-breaker applications are covered by class E1 as defined in 3.4.112 of IEC 62271-100. No additional tests for extended electrical endurance are required.

However, extended electrical endurance (class E2) as defined in 3.4.113 of IEC 62271-100 should be considered for the following reasons:

- Field experience collected so far by CIGRE is limited only for circuit-breaker designs available before 1994 (see for example reference [1], [2], [3]¹ and Annex A.3). For this reason, the data collected by CIGRE so far can hardly be extrapolated to new designs. Therefore, for new types of circuit-breakers, extended electrical endurance can only be fully proven by laboratory tests.
- New maintenance practices tend towards “maintenance-free” circuit-breakers. The reduction of maintenance costs is a major issue for most users today.
- Deregulation of the electricity market may increase the electrical stresses applied to the circuit-breakers, within their proven capability. Installation of generation capacity by independent power producers will increase short-circuit levels in certain areas and consequently change stresses on breakers. This may result in higher stresses applied to circuit-breakers compared to past practice when the short-circuit rating of the circuit-breaker was in large excess of the actual fault currents.
- There is a need to standardize a single extended electrical endurance programme to avoid the specification of different programmes from different users.
- Many manufacturers provide information about electrical endurance capabilities of circuit-breakers during the purchasing process. There is a need to standardize the way this information is given to the users.

It must be noted that circuit-breakers having extended electrical endurance capability, are not intended for use in situations in which electrical arcing stress (which is a combination of high probability of fault occurrence and high fault current level) is beyond the 90-percentile of the electrical arcing stress, as summarized by the CIGRE survey [1] and calculations based on this material [3]. In other words, for networks that are prone to a very high electrical arcing stress, a custom made test programme, not covered by this technical report, is needed (see Clause A.7). Similarly, if users consider an interval between major maintenance of the electrical wearing parts of the interrupters of more than 25 years, a custom made test programme has to be considered.

When extended electrical endurance capability is required, this capability is demonstrated by the standardized test programmes outlined below as applicable to overhead line circuit-breakers above a rated voltage of 52 kV.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers above a rated voltage of 52 kV

1 Scope

This technical report is applicable to class E2 circuit-breakers above a rated voltage of 52 kV for use on overhead lines.

The test programmes are based on accumulated electrical stresses due to current interruption during a period of 25 years, which was chosen as representative for a maintenance-free interval.

2 Normative references

The following referenced documents are 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 62271-100, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definition applies.

3.1

circuit-breaker class E2 (circuit-breaker with extended electrical endurance)

circuit-breaker designed so as not to require maintenance of the interrupting parts of the main circuit during its expected operating life

NOTE “Expected operating life” in this definition means a minimum period of use without maintenance of the interrupting parts. Normally the life expectancy of the design is higher.

4 Test procedure

The tests should be carried out on a specimen identical as per 6.1.2 and 6.101.1.1 of IEC 62271-100, to one of those already submitted or to be submitted to type tests.

All tests should be performed as single-phase tests. In combination with type tests, three-phase tests are acceptable.

No intermediate maintenance should be carried out during the extended electrical endurance test programme.

The test programmes as described in 4.2 and 4.3 are divided into a wear stage followed by acceptance tests.

During the wear stage, the circuit-breaker will be stressed with the equivalent number of accumulated breaking operations, but, for convenience of testing, without specified TRV, except when basic short-circuit test duties are used as described in 4.3.

The acceptance tests should follow the wear stage of the test programmes. The purpose of these acceptance tests is to demonstrate the interrupting capability of the circuit-breaker. It is noted that the worn state of the circuit-breaker is taken into account by not requiring the full interrupting capabilities as specified in IEC 62271-100, but normal service capabilities, in accordance with "near end-of-maintenance-free period conditions" of the circuit-breaker.

The test arrangement should be such that no interference with the circuit-breaker between the tests is necessary. However, if this is not possible and local safety rules require depressurization to enter the test cell, it is allowed to decrease the pressure in the circuit-breaker provided that at least 95 % of the gas is re-used when refilling the circuit-breaker.

There are various possible scenarios for performing a test programme for extended electrical endurance qualification. To limit costs, two alternative possibilities are considered:

- extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests;
- extended electrical endurance qualification combined with type tests.

4.1 General explanation to the extended electrical endurance test programme

As a general statement, in defining the extended electrical endurance test programme, consideration has been given to the following:

- The maintenance-free period of 25 years.

NOTE Should any different period be considered, the number of breaking operations in the wear stage per current ratings given above (Table 2 and Table 5) should be multiplied by the ratio of the new period and the assumed 25 year period.

- The basic need is that the test programme should maintain its technical soundness while being simple and affordable.
- Merging of standard type tests and extended electrical endurance type tests into a single test programme. Even if this does not represent the most likely situation to occur in practice, the intent is to define designs with margins high enough to withstand basic expected making and breaking stresses in worn conditions.
- The extended electrical endurance test programme has been defined using modified standard type tests as acceptance tests. The only aim of combining type test with electrical endurance test is cost reduction. It has been agreed that the extended electrical endurance test programme should consist of a no load test, a wear stage (medium arcing times, no TRV) and acceptance tests.

The characteristics and rationale behind each part of the test programme are as follows:

a) No-load test

Before starting any extended electrical endurance qualification on any design, a no-load test as per 6.102.6 of IEC 62271-100 should be performed and results compared with those derived from the reference no-load test to assure design consistency. This test should be performed at the same pressure for interruption and operating mechanism as used in type tests (as required in 6.102.6 of IEC 62271-100) to assure result comparability.

b) Wear stage

This stage will consist of a number of breaking operations with medium arcing time (determined from the arcing times used during standard type tests) and no TRV (except when type tests are part of the wear stage; then IEC 62271-100 conditions will apply).

Pressure for operation and interruption and operating voltages are set at their rated values (except when type tests are part of the wear stage; then IEC 62271-100 conditions will apply). The number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current is given in Table 2.

Operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current are a simplification of the wear expected over the maintenance-free period due to a spread in breaking currents from

load currents to about 60 % of the rated short-circuit breaking current. Breaking operations at lower short-circuit currents are most likely to occur (see Table A.3).

Operations at 10 % of the rated short-circuit breaking current are considered to be important in order to represent the wear due to low currents. Nine breaking operations at 10 % of the rated short-circuit breaking current, with no TRV, are required together with the breaking operations up to 60 % of the rated short-circuit breaking current in order to complete the wear stage.

No-load tests at rated conditions should be made before the wear stage (to determine the arcing times) and after the wear stage (to determine the arcing times for the acceptance tests).

c) Acceptance tests

These tests consist of the following test duties (the preferred order of testing is as listed below):

1) T10

As per IEC 62271-100, with the following variation: single O operations are performed. Operating voltages and pressures at rated value are chosen to obtain a consistent behaviour of the circuit-breaker during the duty. The minimum arcing time may change due to the worn condition of the circuit-breaker. However, the aim of the test is to show the full arc extinguishing window including the demonstration of the minimum arcing time.

The rationale behind these T10 tests is based on the fact that openings at low currents are the most likely duty in service. For this reason, it is important to check that the circuit-breaker will, after a reasonable portion of its expected life, represented by the wear stage, be able to successfully clear this duty over the entire arcing window.

2) L₇₅ with 60 % of rated short-circuit breaking current

This test consists of L₇₅ tests with a test-current of 60 % of the rated short-circuit current as per 4.102.1 of IEC 62271-100 (regarding TRV parameters of the supply side) and 4.105, with the following variation:

- The supply side current in case of a terminal fault is equal to 75 % of the rated short-circuit breaking current (addition of a L₇₅ line side circuit will then yield 60 % current). Only due to test laboratory limitations reduction of supply circuit voltage is allowed as an alternative to obtain 60 % of the rated short circuit current.
- Single O operations should be performed.
- Operating voltages and pressures at rated value are chosen.
- The line side time delay of TRV is 0,2 µs or 0,5 µs depending on rated voltage as stated in 4.105 of IEC 62271-100.

The minimum arcing time may change due to the worn condition of the circuit-breaker. However, the aim of the test is to show the full arc extinguishing window including the demonstration of the minimum arcing time.

The rationale behind the selection of this duty is demonstration of short-line fault interruption capability in practical cases where less (75 %) than 100 % rated short-circuit breaking current is available at the breaker terminal.

This test is chosen instead of the standard L₉₀, L₇₅ short-line fault tests because the probability to deal with short-line faults with current as high as 90 % or 75 % of the rated short-circuit breaking current is considered very low.

3) Capacitive current switching

Depending on the restriking performance class assigned to the circuit-breaker (C1 or C2 in accordance with IEC 62271-100) a different test duty is performed. The duty consists of either 24 O operations for class C1 or 48 O operations for class C2.

Opening operations are performed “round the clock” by moving the setting of the opening signal by 15°.

The capacitive voltage factors (k_c in 6.111.7 of IEC 62271-100) will be reduced, with respect to those used for standard type tests, to 80 % with the exception of circuit-

breakers rated for voltage factors equal to 1,2 where relaxation to 80 % would lead to a test voltage lower than system voltage. Table 1 correlates the capacitive voltage factors to be used for capacitive current switching tests for electrical endurance with capacitive voltage factors used for standard type tests.

Table 1 – Correlation between capacitive voltage factors used for standard capacitive type tests and capacitive voltage factors to be used for extended electrical endurance capacitive current acceptance tests

Capacitive voltage factor k_c used for standard capacitive current type tests	1,2	1,4	1,7
Capacitive voltage factor k_c used during extended electrical endurance capacitive current acceptance tests	1,12	1,12	1,36

Acceptance criteria will be in agreement with 6.111.11.1 b) of IEC 62271-100, i.e. no restriking over 24 O operations, or, in case of 1 restrike, completion of the duty and repetition with no further restrikes (class C1) and either no restriking over 48 O operations or, in case of 1 restrike, completion of the duty and repetition with no further restrikes (class C2).

The rationale behind this requirement is that the capacitive current switching duty is the most common duty for the circuit-breaker, and therefore a check as to its ability to successfully switch capacitive currents near the end of its expected maintenance-free period is needed.

Users need and require that a circuit-breaker, even after a certain period of service, and after having accumulated a certain amount of short-circuits, should be capable of providing reasonable behaviour in terms of statistical restrike performance.

The capacitive current-switching testing protocol, as a stand-alone type test, requires a high number of breaking operations, and included in the test procedure is a number of tests performed at minimum arcing time. This results in an acceleration factor so that a statistical assessment of restrike performance in service based on laboratory tests can be obtained.

The capacitive current-switching duty required by the acceptance tests in the extended electrical endurance test programme is chosen to verify that a reasonable restrike probability performance remains in circuit-breakers approaching their end-of-maintenance-free period based on short-circuit wear.

Statistical evaluation has shown that the reduced capacitive voltage factor, in combination with the absence of tests at minimum arcing time, has made this acceptance test procedure approximately 25 % as severe as the standard capacitive current switching type test with relation to the restrike probability.

Considering the relatively short length of overhead lines based on the collected data, the test current will correspond to test duty 1 (10 % to 40 % of the rated capacitive switching current of the concerned circuit-breaker).

Capacitive current switching tests are performed with rated pressure for operation, insulation and interruption.

No-load tests at rated conditions should be made after the acceptance tests (for information only).

4) Condition check

A voltage test as condition check, in agreement with 6.2.11 of IEC 62271-100 but with rated pressure for operation, insulation and interruption, should be performed as the final acceptance test. This test is intended to provide confidence that the circuit-breaker, at the completion of the extended electrical endurance test programme, is still able to provide sufficient voltage withstand between contacts without requiring

inspections that might be of a subjective nature. No visual inspection is required after the condition check.

4.2 Extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests

Tables 2 and 3 summarize the kind of tests, acceptance criteria and test conditions to be used for the extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests.

For convenience of testing, the order shown in Table 2 and Table 3 of the T10, T60 breaking operations in the wear and acceptance stage can be changed.

Table 2 – Test sequence and criteria for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests

Rated short circuit breaking current	≤ 20 kA	25 kA	31,5 kA	40 kA	50 kA	63 kA	80 kA
Type of test							
No-load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6 (see 4.1.a)						
Wear tests							
No-load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6, except with operating voltages and pressure for interruption at rated conditions (see 4.1.b)						
T60 breaking operations (number of O)	18	15	12	10	8	7	5
T10 breaking operations (number of O)	9						
No-load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6, except with operating voltages and pressure for interruption at rated conditions (see 4.1.b)						
Acceptance tests							
T10	As per IEC 62271-100, with the following variation: single O operations are performed						
L75 with 60 % of rated short-circuit current	As per IEC 62271-100, with the following variations: - single O operations are performed - reduction of test current to 60% of rated short-circuit breaking current by increased impedance of the supply circuit.						
LC1	- For circuit-breakers rated class C1: 0 restrikes over 24 O or 1 restrike over 48 O - For circuit-breakers rated class C2: 0 restrikes over 48 O or 1 restrike over 96 O						
No-load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6, except with operating voltages and pressure for interruption at rated conditions (see 4.1.c)						
Condition check	According to 6.2.11 of IEC 62271-100 except with operating voltages and pressure for interruption at rated conditions (see 4.1.c)						
NOTE The number of T60 breaking operations in the wear stage is based on the assumption that 3 breaking operations with 60 % of the rated short-circuit current are performed in the acceptance stage. When the number of interruptions performed in the acceptance stage is anticipated to be higher than 3 (i.e. when synthetic tests are performed), This means that when more than 3 tests are expected in the acceptance stage (for example 4 in synthetic tests), the number of tests in the wear stage should be reduced accordingly. All the extra tests during the acceptance stage should be made with TRV.							

The test conditions are given in Table 3. The tests should be performed using rated values of pressure for operating and interrupting and auxiliary voltages.

Table 3 – Test conditions for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests

Type of test	Operations	Test voltage/test current	Operating voltage and pressure for interruption and operation	Arcing time
Wear tests				
No load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6		Minimum	
No load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6, but with rated pressure for operation, insulation and interruption		Rated	
T60	Only opening operations	According to T60 type test as per 6.106.3 of IEC 62271-100 without TRV	Rated	Medium arcing time according to T60 type test
T10	Only opening operations	According to T10 type test as per 6.106.1 of IEC 62271-100 without TRV	Rated	Medium arcing time according to T10 type test
No load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6, but with rated pressure for operation, insulation and interruption		Rated	
Acceptance tests				
T10	Only opening operations	According to T10 type test as per 6.106.1 of IEC 62271-100	Rated	See NOTE 1
L75 with 60 % of rated short-circuit current	Only opening operations	As per 6.109.4 of IEC 62271-100. Reduction of test current to 60 % of rated short-circuit breaking current by increased impedance of the supply circuit (see NOTE 4)	Rated	See NOTE 1
LC1		According to 6.111 of IEC 62271-100. The test voltage is the highest value between 80 % of test voltage specified for type tests and the value corresponding to a voltage factor of 1,12 (see Table 1)	Rated	Around the clock every 15° (electrical degrees)
No load test	As per IEC 62271-100, 6.102.6, but with rated pressure for operation, insulation and interruption		Rated	
Condition check	As per 6.2.11 of IEC 62271-100, but with rated pressure for operation, insulation and interruption		Rated	

NOTE 1 For acceptance tests T10 and L₇₅ with 60 % current the arcing times may vary from those shown during type tests due to different pressures for operation and interruption, or due to the worn condition of the circuit-breaker. However the full extinguishing window should be shown including the demonstration of the minimum arcing time.

NOTE 2 For the wear tests T10 and T60, 50 Hz tests cover 60 Hz requirements, provided that the tests have been performed with a medium arcing time belonging to 50 Hz. For acceptance test LC1, 60 Hz tests cover 50 Hz requirements.

NOTE 3 Unit testing according to 6.102.4.2 of IEC 62271-100 is permissible.

NOTE 4 In synthetic testing, this condition is most easily met by designing the circuit for the L₇₅ test duty, and then inserting an additional reactance equal to the artificial line reactance into the synthetic supply circuit.

4.3 Extended electrical endurance qualification combined with type tests

When extended electrical endurance qualification combined with type tests is desired, it is recognized that dictating too stringent constraints may impair the economic viability of such a combination.

In order to allow maximum freedom within this combined programme during the wear tests, the number of breaking operations at T60 with medium arcing time can be replaced by other test duties. Limited to the purpose of this qualification, Equation (1) provides the equivalence between breaking operations carried out at medium arcing time, with current values as used during type tests, and breaking operations at T60 at medium arcing time.

Table 4 – Equivalent number of breaking operations

One single breaking operation at medium arcing time and current value as in	Equivalent number of breaking operation at 60 % of rated short-circuit breaking current (T60)
T10	0,01
OP2	0,15
T30	0,25
T60	1

NOTE During the performance of type tests, some additional breaking operations may occur for no particular reason. In such a case, an evaluation of the equivalence in terms of wear should be made, taking into consideration the actual arcing time (it is assumed that the wear is proportional to the arcing time for the same current).

$$0,01N_{10} + 0,15N_{OP2} + 0,25N_{30} + N_{60} = M_{90} \tag{1}$$

with

- N_{10} the number of breaking operations with 10 % rated short-circuit breaking current;
- N_{OP2} the number of breaking operations at test-duty OP2;
- N_{30} the number of breaking operations with 30 % rated short-circuit breaking current;
- N_{60} the number of breaking operations with 60 % rated short-circuit breaking current;
- M_{90} the number (of T60 tests in the combined test programme) as defined in Table 5 aimed to cover 90 % of cumulative electrical stresses in 25 years.

Table 5 – Defined number M_{90} of number of T60 tests combined with type testing

Rated short-circuit breaking current	≤ 20 kA	25 kA	31,5 kA	40 kA	50 kA	63 kA	80 kA
M_{90}	18	15	12	10	8	7	5

Apart from the equivalence criterion expressed in Equation (1), the following requirements should be fulfilled:

- The combined test program should include at least 3 breaking operations at 60 % current, even when in the type-test part of the combined programme a sufficient wear is obtained.
- The combined test program should include at least 9 breaking operations at 10 % current, even when in the type-test part of the combined programme a sufficient wear is obtained.
- Current values of the breaking operations considered in Equation (1) should be at maximum 60 % of the rated short-circuit breaking current.

The acceptance stage should be in accordance with Tables 2 and 3.

The order of testing in the wear stage of the combined program is arbitrary.

A more general equation considering the equivalency of any current (other than the well defined test-duty values) can be found as Equation (A.1) in A.6.2.

In Table 6, an example is given of a combination of type test with an extended electrical endurance test.

Table 6 – Example of combination of type test with E2 test for a 50 kA circuit-breaker in synthetic test

Duty	Expected number of breaking operations	equivalent number of T 60 arcing stress	Applicable to wear stage	Applicable to acceptance stage
Type tests only				
T100s	5	Not applicable	No: current > 60 %	No
T100a	4		No: current > 60 %	No
L ₇₅	5		No: current > 60 %	No
L ₉₀	5		No: current > 60 %	No
DEF (Double Earth Fault)	1		No: current > 60 %	No
SEF (Single Earth Fault)	1		No: current > 60 %	No
LC1	Variable		No	No
LC2	Variable		No	No
Combined section of test programme (type tests + wear test for E2 qualification)				
OP2	4	0,6	Yes	No
T30	5	1,25	Yes	No
T10	5	0,05	Yes	No
T10 additional to type test	4 to reach 9 T10	0,04	Yes	No
T60	5	5	Yes	No
T60 additional to type test	1	1	Yes	No
Intermediate sum		7,9 (< 8 from Table 5, additional test necessary)		
Acceptance tests for E2 qualification				
L ₇₅ with 60 % current	4	1 (see NOTE)	Yes, 1 test counts	Yes
T10	4	Not applicable	No	Yes
LC1	See Table 2	Not applicable	No	Yes
Sum		8,9 (> 8 from Table 5)		
NOTE Because of synthetic testing, 1 of the 4 60 % tests in the acceptance stage may be added to the 7,9 in the wear stage, adding up to 8,9 > 8 from Table 5 (see also NOTE in Table 2).				

For convenience of testing the order of T10, T60 testing can be changed.

Annex A (informative)

Explanatory notes

A.1 Introduction

Extended electrical endurance test programmes for rated voltages up to and including 52 kV have already been introduced in IEC 62271-100. New low-maintenance circuit-breaker designs are now available, with properties not yet proven over their defined maintenance-free period. There is also an increasing trend followed by various utilities to install equipment with specification closer to the needs than before and an increasing demand for “quality of supply”. These are all issues that require the circuit-breaker to prove its ability to perform successfully over its expected maintenance-free period, and on this basis, introduction of extended electrical endurance test programmes to rated voltages above 52 kV may be considered.

At the same time it is recognized that any new extended electrical endurance tests should be based on actual short-circuit fault statistics and on a sound and traceable process for determination of the test programme. Over-specification should be avoided, since it leads to increased cost of the circuit-breakers.

A.2 Determination of extended electrical endurance test programmes

This annex is aimed at providing the information, assumptions and methodology adopted for selecting extended electrical endurance test programmes for high-voltage circuit-breakers.

The following subclauses describe the collected data, their statistical nature, the choice and assumptions made and the methodological approach used to derive the extended electrical endurance test programmes provided in this technical report. The purpose of this report is to make available all the information backing up the test procedures so that future amendments may start by positive criticism and feedback of what was made available and collected for issuing the present technical report.

A.3 Collected data

Since the objective is an extended electrical endurance test programme, it has to represent, at best, the actual fault statistics in the field. The larger the amount of collected data, the more representative they are².

A.3.1 Countries involved in the data collection

Several countries participated in the data collection. Depending on the local situation, one or more utilities may operate in a country. In some cases, data were collected from more than a single utility per country, again with the aim of collecting as much data as possible, representative of the country's fault statistics. The list of participating countries is given in Table A.1³.

² Data were collected through a co-operation between CIGRE WG 13.08 and IEC SC 17A/WG 29 around 1996. In 2005, new detailed fault data from Japan was added [3], used to verify the statistical calculation model leading to the number of necessary T60 tests in the electrical endurance test programme.

³ To avoid misunderstandings with countries which are not represented in the table, it should be stressed that the data collection took place through direct contact between CIGRE WG 13.08 and IEC SC 17A/WG 29 members with utilities' representatives. This direct contact was needed to obtain data within the specified time schedule.

Table A.1 – List of countries involved in the data collection

BELGIUM	FRANCE
NETHERLANDS	SWITZERLAND
BRAZIL	USA
ITALY	SWEDEN
SPAIN	GERMANY
JAPAN	CANADA
INDIA	

Several types of data per voltage class were the subject of the inquiry, for example:

- number of short-circuits per 100 km of overhead line/year;
- average overhead line length. When available, the statistical distribution of overhead line lengths around the average was also collected;
- number of phases involved in the faults, i.e. percentage of 3-, 2- and 1-phase faults;
- percentage of transient (O-C), semi-permanent (O–CO-C) and permanent (O–CO-CO) faults;
- ratio of the existing short-circuit current available at the circuit-breaker location to the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker and, where available, its statistical distribution. This information is crucial for deriving an extended electrical endurance test programme based on the actual, instead of full exploitation of the circuit-breaker ratings.

A.3.2 Consideration of the statistical nature of the data and choice of representative data

The collection of data, some having an internal statistical distribution, and in addition coming from several countries, poses the problem of identifying a “value” selected according to specific approaches. As a general rule, starting from the collected data, the average value was taken. Exceptions to the general rule were

- the overhead line length,
- the number of faults per 100 km overhead line per year,
- the ratio of the short-circuit current available at the busbars to the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker. It is common practice to install, at any location, enough “margin” to account for system expansion over the expected circuit-breaker life. This means installing circuit-breakers with a rated short-circuit breaking current higher than that available, in the various system configurations, at the busbar where the circuit-breaker is located. Another aspect to be considered is the utilities’ policy of selecting, per voltage class and as much as possible, very few (1 or maximum 2) levels of rated short-circuit breaking current for the circuit-breakers to be installed.

For these parameters, the distribution of the utility averages was used to construct a statistical distribution of the relevant quantities. Selection, in the resulting distribution of arcing stresses in service, of the 90-percentile value, follows the general criterion of the IEC standards to cover 90 % of the cases. Since utilities provided average values for most data (overhead line length, fault density, etc.), it should be clearly stated that the 90-percentile values used to obtain the test programmes are the 90-percentile values of the average values provided by each utility.

The selection of the 90th percentile value has been taken considering:

- the increasing tendency of utilities to install “less margin” than in the past and the influence of un-bundling and deregulation in the electricity market that will cause an increased exploitation of the installed equipment;

- the usual standard practice to cover 90 % of the cases of concern;
- the increase of short-circuit currents due to system expansions, especially significant for developing countries.

A.3.3 Summary of the used reference data

Table A.2 shows a summary of the used reference data. Values are given per voltage class, and indications of either average or 90 percentile values of the distribution of the collected data are also given. The values have been used as an input subset for deriving the extended electrical endurance test programme.

Table A.2 – Used reference data

	$U_r < 100$ kV	$100 < U_r < 200$ kV	$200 < U_r < 300$ kV	$300 < U_r < 500$ kV	$U_r = 550$ kV	$U_r = 800$ kV
Number of faults per 100 km/year (90-percentile value)	17,3	8,3	4,8	3,3	4,2	1,7
Maintenance-free period (years)	25	25	25	25	25	25
90-percentile overhead line length (km)	39	76	107	125	153	268
% of exploitation ^a (90-percentile value)	62	73	76	78	74	66
% 1-phase fault	64	65	74	83	90	93
% 2-phase fault	26	29	20	14	10	6
% 3-phase fault	10	6	6	3	0	1
% O-C	68,5	66,5	68,5	65	74	60
% O-CO-C	16,5	18,5	16,5	20	11	25
% O-CO-CO	15	15	15	15	15	15
^a Exploitation: ratio between existing short-circuit current at the circuit-breaker location and the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker.						

A.4 Other collected data

For determining the fault statistics, i.e. the number of faults at a given fault current, zero sequence impedance of the system, direct and zero sequence per unit of length of overhead lines are needed. For the X_0/X_1 ratio of the system, data were derived from utilities' short-circuit calculations.

For a 245 kV system (with more than 250 nodes) this ratio ranges between 0,56 (10-percentile) and 2,77 (90-percentile), averaged at 1,68. For a 420 kV system (with more than 130 nodes) this ratio ranges between 0,94 (10-percentile) and 3,24 (90-percentile), averaged at 2,01. As a general figure, where values were not available, a X_0/X_1 ratio of 2 was assumed.

For overhead lines per voltage class, statistical distributions of both direct and zero sequence impedance were taken from existing literature, taking into account tower and conductor characteristics.

A.5 Assumptions in case of missing data and simplifications

Assumptions were made because of missing data, namely:

- probability of fault is evenly distributed along the overhead line;
- all statistically varying parameters are independent from each other;
- the validity of the results of the CIGRE enquiry is valid for all high-voltage circuit-breakers;

- the fault arc has a negligible influence on the short-circuit current;
- every utility, participating in the WG13.08 enquiry, has the same weight factor in the ultimate result;
- the wear effect of currents of different magnitude can be compared by an equivalence factor described by Equation (A.1) in A.6.2.
- overhead line resistance is not included.

A.6 Method for deriving statistics of faults over the circuit-breaker maintenance-free period

The method is based on computer-generated faults in model networks, that have the same frequency of occurrence, same distribution of 1-phase, 2-phase and 3-phase nature, same fault persistence (O-C or O-CO-C or O-CO-CO), and same share of stressing the phases as prescribed by the statistics collected by CIGRE WG 13.08.

Practically, this implies the construction of adequate distribution functions that fit optimally to the field data of the relevant quantities. For the fault density and the overhead line length, two-dimensional Weibull distribution functions have been adopted because sufficient separate datapoints are available from the 16 utilities that participated in the WG 13.08 enquiry. For the impedances of stations and overhead lines, Gaussian distribution functions were used, because only median values and 10- or 90-percentiles were available.

Then, with 'dices', having a 'Gaussian' or 'Weibull' weight appropriate to the distribution function of the system parameters (overhead line length and - impedances, source strength), a system is defined.

Next in this system, a fault is generated randomly on the overhead line, and with the appropriate 'dice' (Gaussian, Weibull or uniform) the type of fault, persistence and phases stress is determined. Thus, a fault current is calculated, that is translated to an equivalent fraction of the 60 % current stress with Equation (A.1) in A.6.2

This fault generating procedure is repeated in the same system a number of times, according to the fault density distribution. The sum of all the equivalent 60 % current fractions is then the electrical stress, expressed in number of 60 % current stress, for a particular circuit-breaker.

This procedure is repeated for many (order 10 000) systems. Thus, a distribution of number of equivalent 60 % tests arises. The 90-percentile of this distribution is taken as the 90-percentile of the arcing stress that breakers in service have to cope with.

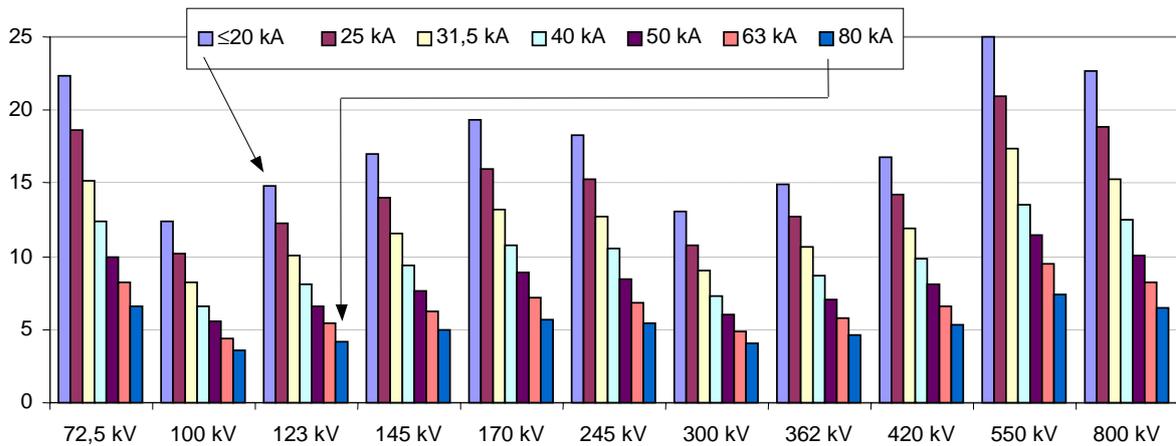
Since most of the statistical data are collected for a certain voltage class, the whole procedure is repeated for every voltage class and every rated short-circuit breaking current.

The calculations for the number of breaking operations at the various ranges of percentage values of the rated short-circuit breaking current are summarized in Table A.3 below.

Table A.3 – Number of breaking operations in various ranges of interrupted current in service during 25 years

	Rated short-circuit breaking current (kA)						
	≤ 20	25	31,5	40	50	63	80
Range of interrupted current in service	Estimated number of breaking operations in service during 25 years						
$I_{sc}/I_r \leq 0,1$	10	13	17	21	26	30	34
$0,1 < I_{sc}/I_r \leq 0,3$	32	31	29	25	21	18	14
$0,3 < I_{sc}/I_r \leq 0,6$	8	6	5	4	3	3	2
$I_{sc}/I_r > 0,6$	1	0	0	0	0	0	0

It has been observed from the data that the tendency as shown in Table A.3 is similar in each voltage class (72,5 kV – 800 kV), see Figure A.1, where the estimated number of T60 stresses is plotted for a number of rated voltages (horizontal axis) and currents (height of the bars).



IEC 424/08

Figure A.1 – Estimated number of equivalent T60 stresses for various rated voltages and rated short-circuit breaking currents

The requirement to include in any case 3 times a T60 test and 9 times a T10 test, even in the test programme combined with type tests (see 4.3), is based on the observation that current interrupted in service is mostly between 10 % and 60 % of rated short-circuit breaking current.

As seen in Table A.3, very few interruptions occur at 60 % – 100 % of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker. This is consistent with the data regarding the ratio of the installed short-circuit current to the existing short-circuit current at the location.

A.6.1 Problem of “tailor-made” versus “averaged” test programmes

“Tailor-made” programmes are used here to address extended electrical endurance test programmes created for the voltage and current ratings of the circuit-breaker. The advantage of this approach is a test programme with a number of tests much closer to the stresses

expected in service. Conversely, the disadvantage is that in the case of designs able to meet different voltage and/or current ratings, no envelope or averaged test programme can be derived. This leads to an uneconomical approach.

“Averaged” test programmes offer the advantage of a defined envelope where the same design can meet different ratings and limits the number of different tests (variety of short-circuit duties within the same test programme framework). At the same time, “averaging” means that some designs will be more stressed and some others will be less stressed with respect to the tailor-made approach.

Considering the above pros and cons of the two possible approaches, the recommended one as a starting point for deriving extended electrical endurance test programmes, is Equation (1) given in 4.3.

A.6.2 Equivalence of arbitrary current to standard current values

It was determined that a test programme derived from the system fault analysis representing 25 years of service was impractical to do in a test laboratory. Simplification was required to limit the testing time and reduce the number of tests, at the same time maintaining the equivalence of the overall accumulated short-circuit wear. This has been obtained by using a law of equivalence between breaking operations at a given current and a number of equivalent breaking operations at T60. Such a law has been defined and checked experimentally in the 1980s in France on 420 kV SF₆ single pressure circuit-breakers by a French utility that wanted to simplify its own extended electrical endurance test programmes. Details of the method and results can be found in [4].

The law of equivalence can be summarized as follows:

$$F_{60} = 9,35 \left(\frac{I}{I_{sc}} \right)^3 \quad \text{if } I < 0,35 I_{sc}$$

$$F_{60} = 2,38 \left(\frac{I}{I_{sc}} \right)^{1,7} \quad \text{if } I \geq 0,35 I_{sc}$$
(A.1)

where F_{60} is the equivalent fraction of T60 arcing stress.

A.7 Proposed equivalent number of T60 breaking operations to cover special service conditions

It must be noted that circuit-breakers having extended electrical endurance capability, are not intended for use in situations in which electrical arcing stress (which is a combination of high probability of fault occurrence and high fault current level) is beyond the 90-percentile of the electrical arcing stresses, as summarized by the CIGRE survey [1] and calculations based on this material [3]. In other words, for breakers that are prone to a very high electrical arcing stress, a custom made equivalent wear is needed based on number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit current.

Table A.4 shows calculated equivalent number M_{99} of breaking operations at 60 % of rated short-circuit breaking current, based on 99 % of estimated stresses in 25 years.

Table A.4 – Estimated number M_{99} of T60 breaking operations to cover 99 % of field stresses

Rated short-circuit breaking current	≤ 20 kA	25 kA	31,5 kA	40 kA	50 kA	63 kA	80 kA
M_{99}	39	33	27	22	19	15	12

This situation refers to special service conditions, for example areas with exceptionally high isokeraunic levels, absence of earth wire protection, exceptional climatic conditions.

Bibliography

- [1] CIGRE brochure 83, *Final report of the second international enquiry on high-voltage circuit-breaker failures and defects in service*, 1994
 - [2] CIGRE TF A3.01, *Statistical Analysis of Electrical Stresses on High-Voltage Circuit-Breakers in Service*, *Electra*, no. 220 , pp. 24-26, June 2005
 - [3] R.P.P. Smeets, H. Ito, *Electrical Endurance of Circuit Breakers in Service* CIGRE A3/B3 Colloquium, paper 102, 2005
 - [4] Pons, A. Sabot, A. Babusci, G. *Electrical endurance and reliability of circuit-breakers. Common experience and practice of two utilities*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, N°1, January 1993
 - [5] Y. Nakada, I. Tagaki, M. Shin, J. Kida, M. Toyoda, H. Ito, “*Reliability and Electrical Stress Survey on High Voltage Circuit-Breakers in Japan*”, CIGRE Conference, paper A3-205, 2006
 - [6] IEC 62271-101, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	23
INTRODUCTION.....	25
1 Domaine d'application	26
2 Références normatives.....	26
3 Termes et définitions	26
4 Procédure d'essais	26
4.1 Explication générale du programme d'essais d'endurance électrique accrue	27
4.2 Qualification de l'endurance électrique accrue obtenue en dehors des essais de type.....	30
4.3 Qualification de l'endurance électrique accrue combinée à des essais de type.....	33
Annexe A (informative) Notes explicatives	35
Bibliographie.....	42
Figure A.1 – Nombre estimé de contraintes T60 équivalentes pour différentes tensions assignées et pouvoirs de coupure assigné en court-circuit.....	39
Tableau 1 – Correspondance entre le facteur de tension capacitive utilisé pour les essais de type capacitifs normalisés et le facteur de tension capacitive à utiliser pour les essais de courants capacitifs du programme d'endurance électrique accrue.....	29
Tableau 2 – Séquence d'essais et critères pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type	31
Tableau 3 – Conditions d'essais pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type	32
Tableau 4 – Nombre équivalent de coupures	33
Tableau 5 – Nombre défini M_{90} de nombre d'essais T60 combinés avec les essais de type	33
Tableau 6 – Exemple de combinaison d'essais de type avec l'essai E2 pour un disjoncteur 50 kA dans un essai synthétique.....	34
Tableau A.1 – Liste des pays impliqués dans la collecte des données	36
Tableau A.2 – Données de référence utilisées	37
Tableau A.3 – Nombre de manœuvres de coupure pour différentes plages de courant de coupure en service durant 25 ans	39
Tableau A.4 – Nombre estimé M_{99} de manœuvres de coupure T60 pour couvrir 99 % de l'ensemble des contraintes.....	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 310: Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension assignée supérieure à 52 kV

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 tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI/TR 62271-310, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Cette deuxième édition de la CEI/TR 62271-310 annule et remplace la première édition parue en 2004. Elle constitue une révision technique.

La présente édition inclut les modifications techniques significatives suivantes par rapport à l'édition précédente:

- réduction du nombre d'essais durant la période d'essais d'usure;
- nouvelle définition de l'essai d'acceptation pour démonstration de la capacité de coupure thermique de fin de vie.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
17A/803/DTR	17A/814/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62271, présentées sous le titre général *Appareillage à haute tension* peut être consultée sur le site web de la CEI.

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.

INTRODUCTION

En s'appuyant sur l'expérience acquise avec les disjoncteurs à haute tension actuels, le système de protection et leur politique de maintenance, la majorité des applications avec disjoncteurs est couverte par la classe E1 telle que définie en 3.4.112 de la CEI 62271-100. Aucun essai complémentaire n'est exigé pour l'endurance électrique accrue.

Toutefois, il convient de considérer l'endurance électrique accrue (classe E2) telle que définie en 3.4.113 de la CEI 62271-100 pour les raisons suivantes:

- L'expérience en service recueillie jusqu'ici par le CIGRE se limite seulement aux conceptions de disjoncteurs mis sur le marché avant 1994 (voir par exemple la référence [1], [2], [3]¹ et l'Annexe A.3). Pour cette raison, les données recueillies jusqu'ici par le CIGRE peuvent à peine être extrapolées à de nouvelles conceptions. Toutefois, pour de nouveaux types de disjoncteurs, l'endurance électrique accrue ne peut être prouvée complètement que par des essais en laboratoire.
- De nouvelles pratiques de maintenance tendent vers l'utilisation de disjoncteurs «sans maintenance». La réduction des coûts de maintenance est un sujet important pour beaucoup d'utilisateurs actuellement.
- La dérégulation du marché de l'électricité peut augmenter les contraintes électriques appliquées aux disjoncteurs, sans dépasser leurs capacités. L'installation de capacités de production par des producteurs d'énergie indépendants peut augmenter les niveaux de court-circuit dans certaines zones et modifier par conséquent les contraintes sur les disjoncteurs. Ceci peut entraîner des contraintes plus élevées sur les disjoncteurs par rapport à l'habitude du passé lorsque les caractéristiques du court-circuit du disjoncteur étaient largement dimensionnées par rapport aux courants de défaut réels.
- Il est nécessaire de normaliser un seul programme d'endurance électrique accrue pour éviter la spécification de programmes différents par divers utilisateurs.
- Lors des achats de matériel, de nombreux constructeurs fournissent des informations concernant l'endurance électrique des disjoncteurs. Il y a un besoin de normaliser la façon dont ces informations sont données aux utilisateurs.

Il faut noter que les disjoncteurs ayant une capacité d'endurance électrique accrue, ne sont pas destinés à une utilisation dans des situations où les contraintes à l'arc électrique (qui sont une combinaison d'une haute probabilité d'apparition de défauts et d'un haut niveau de courant de défaut) vont au-delà du 90^e centile de ces contraintes, comme résumé par l'enquête du CIGRE [1] et les calculs basés sur ce matériel [3]. En d'autres termes, pour les réseaux sujets à de très hautes contraintes à l'arc électrique, un programme d'essai sur mesure, non traité dans le présent rapport technique, est nécessaire (voir Article A.7). De la même manière, si des utilisateurs considèrent un intervalle de temps de plus de 25 ans entre la maintenance principale des parties électriques des interrupteurs sujettes à l'usure, il y a lieu qu'un programme d'essai sur mesure soit considéré.

Lorsqu'une endurance électrique accrue est exigée, cette capacité est démontrée par les programmes normalisés d'essais ci-après qui sont applicables aux disjoncteurs de ligne aérienne de tension assignée supérieure à 52 kV.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 310: Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension assignée supérieure à 52 kV

1 Domaine d'application

Ce rapport technique s'applique à la classe E2 de disjoncteurs de tension assignée supérieure à 52 kV, prévus pour la manœuvre de lignes aériennes.

Les programmes d'essais sont basés sur des contraintes électriques cumulées dues à des interruptions de courant, durant une période de 25 ans, qui a été choisie comme représentative d'un intervalle de temps sans maintenance.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables 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 62271-100, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

disjoncteur classe E2 (disjoncteur à endurance électrique accrue)

disjoncteur conçu de sorte que, pendant sa durée de service escomptée, les pièces du circuit principal mises en jeu pour l'établissement et la coupure ne nécessitent aucune maintenance

NOTE Dans cette définition, la « durée de service escomptée » renvoie à une période minimale d'utilisation sans maintenance des parties mises en jeu pour l'établissement et la coupure. Normalement, l'espérance de vie prévue à la conception est supérieure.

4 Procédure d'essais

Il est recommandé d'effectuer les essais sur un spécimen identique, selon 6.1.2 et 6.101.1.1 de la CEI 62271-100, à un de ceux qui ont déjà été soumis ou qui seront soumis aux essais de type.

Il convient que tous les essais soient réalisés en monophasé. En combinaison des essais de type, les essais en triphasé sont acceptables.

Il convient que la maintenance intermédiaire ne soit pas réalisée pendant le programme d'essais d'endurance électrique accrue.

Les programmes d'essais décrits en 4.2 et 4.3 sont divisés en une partie d'essais d'usure suivie par des essais d'acceptation.

Pendant la partie d'essais d'usure, le disjoncteur sera soumis à la contrainte du nombre équivalant d'opérations de coupures cumulées mais, pour faciliter la réalisation des essais, sans TTR spécifiée, sauf lorsque des séquences d'essais de court-circuit sont utilisées comme indiqué en 4.3.

Il est recommandé que les essais d'acceptation suivent la partie d'essais d'usure des programmes d'essais. Le but de ces essais d'acceptation est de démontrer le pouvoir de coupure du disjoncteur. Il est noté que l'état d'usure du disjoncteur est pris en compte en n'imposant pas le plein pouvoir de coupure comme spécifié dans la CEI 62271-100, mais le pouvoir de coupure normal de service, dans les conditions « proches de la fin de période sans maintenance » du disjoncteur.

Il y a lieu que le montage d'essais soit tel que l'état du disjoncteur ne soit pas modifié entre les essais. Cependant, si ce n'est pas possible et que les règles de sécurité locales exigent la dépressurisation pour permettre l'accès à la cellule d'essais, il est alors permis de diminuer la pression dans le disjoncteur à condition que 95 % au moins du même gaz soit réutilisé lors du remplissage suivant du disjoncteur.

Il existe plusieurs scénarios possibles pour effectuer le programme d'essai d'une qualification en endurance électrique accrue. Pour limiter les frais associés, deux possibilités différentes sont offertes:

- la qualification en endurance électrique accrue, obtenue en dehors des essais de types;
- la qualification en endurance électrique accrue, combinée avec les essais de type.

4.1 Explication générale du programme d'essais d'endurance électrique accrue

D'une manière générale, les considérations suivantes ont été prises en compte pour définir le programme d'endurance électrique accrue:

- La période sans maintenance de 25 ans.

NOTE S'il y avait lieu de considérer une période différente, il conviendrait de multiplier le nombre de coupures donné précédemment pour la période d'essais d'usure (Tableau 2 et Tableau 5), en fonction des valeurs assignées du pouvoir de coupure, par le rapport du nombre d'années de la période envisagée par 25.

- Avant tout, il convient que le programme d'essai soit simple et financièrement abordable, tout en maintenant sa justesse technique et la traçabilité dans son développement.
- Combinaison des essais de type et des essais d'endurance électrique dans un seul programme d'essais. Même si cela ne représente pas la situation la plus probable en pratique, il peut exister des situations où les appareils ont une marge suffisante leur permettant de supporter les contraintes de base des essais d'établissement et de coupure en étant préalablement usés.
- Par suite, le programme d'essais d'endurance électrique a été défini en utilisant le plus possible les essais de type comme essais d'acceptation. Le seul objectif de la combinaison de l'essai de type et de l'essai d'endurance électrique est une réduction de coût. D'un commun accord, le programme d'endurance électrique accrue consiste en des essais à vide, une période d'essais d'usure (avec une durée d'arc moyenne, sans TTR) et des essais d'acceptation.

Les caractéristiques et le justificatif de chaque partie du programme d'essai sont donnés ci-après:

a) Essais à vide

Avant de commencer la qualification en endurance électrique accrue sur tout appareil, il convient d'effectuer un essai à vide suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100 et de comparer les résultats à ceux de l'essai mécanique à vide afin de vérifier la cohérence. Il convient que cet essai soit effectué à la même pression que celle utilisée dans les essais de type pour le mécanisme de coupure et d'entraînement (comme indiqué en 6.102.6 de la CEI 62271-100) de manière à permettre la comparaison des résultats.

b) Période d'essais d'usure

Cette période sera composée d'un nombre de manœuvres de coupure avec une durée d'arc moyenne (déterminée à partir des durées d'arc obtenues pendant les essais de type) et sans TTR (excepté lorsque les essais de type font partie de la période d'essais d'usure; les conditions de la CEI 62271-100 s'appliqueront alors).

Les pressions pour la manœuvre et pour la coupure, ainsi que les tensions de service sont réglées à leurs valeurs assignées (excepté lorsque les essais de type font partie de la période d'essais d'usure; les conditions de la CEI 62271-100 s'appliqueront alors). Le nombre de coupures de courants à 60 % du pouvoir de coupure est donné dans le Tableau 2.

Les coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sont une simplification de l'usure attendue pendant la durée sans maintenance avec des courants coupés compris entre les courants de charge et 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit. Par ailleurs, les manœuvres de coupure de faibles courants de court-circuit ont une probabilité plus grande de se produire (voir Tableau A.3).

Les coupures à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sont considérées comme étant importantes afin de représenter l'usure due aux courants faibles. Neuf opérations de coupure à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit, sans TTR, sont exigées en plus des opérations de coupure jusqu'à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit afin de compléter la période d'essais d'usure.

Il convient de réaliser des essais à vide aux conditions assignées avant la période d'essais d'usure (pour déterminer les durées d'arc) et après la période d'essais d'usure (pour déterminer les durées d'arc pour les essais d'acceptation).

c) Essais d'acceptation

Ces essais sont composés des séquences d'essais suivantes (l'ordre recommandé des essais est celui donné ci-après):

1) T10

Selon la CEI 62271-100, avec le changement suivant: manœuvres d'ouverture simple. La valeur assignée de la tension de service est choisie de manière à avoir un comportement stable (durée d'ouverture) du disjoncteur pendant la séquence. La durée d'arc minimale peut être modifiée en raison de l'usure du disjoncteur. Toutefois, le but de cet essai est de démontrer la plage complète de coupure ainsi que la durée d'arc minimale.

Ces essais T10 sont justifiés par le fait que les ouvertures avec de faibles courants sont les plus probables en service. Pour cette raison, il a paru utile d'acquérir une certaine confiance dans la capacité du disjoncteur à couper avec succès cette séquence d'essai, et pour l'ensemble de sa plage de durée d'arc, après qu'une partie raisonnable de sa durée de vie, représentée par une partie essais d'usure, se soit écoulée.

2) L₇₅ avec 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Cet essai consiste en la séquence d'essais L₇₅ avec un courant d'essai de 60 % du courant de court-circuit assigné conformément à 4.102.1 de la CEI 62271-100, (concernant les paramètres TTR du côté de l'alimentation) et 4.105, avec les variations suivantes:

- Le courant du côté de l'alimentation dans le cas d'un défaut de raccordement est égal à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit (l'addition d'un circuit du côté de la ligne L₇₅ pourra alors générer 60 % du courant). Seulement en raison des limites du laboratoire d'essais, la réduction de la tension du circuit d'alimentation est autorisée comme alternative pour obtenir 60 % du courant de court-circuit assigné.
- Il convient d'effectuer des manœuvres d'ouverture simple.
- La valeur assignée des tensions et pressions de service est choisie.
- Le retard du côté de ligne de la TTR est 0,2 µs ou 0,5 µs en fonction de la tension assignée telle que définie en 4.105 de la CEI 62271-100.

La durée d'arc minimale peut être modifiée en raison de l'usure du disjoncteur. Toutefois, le but de cet essai est de démontrer la plage complète de coupure ainsi que la durée d'arc minimale.

Cette séquence d'essai a été choisie pour démontrer la capacité de coupure pour défaut de ligne dans les cas pratiques où moins de 100 % (75 %) du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est disponible aux bornes du disjoncteur.

Cet essai est choisi à la place des essais de défaut de ligne normalisés L_{90} , L_{75} parce que la probabilité de traiter les défauts de ligne avec un courant aussi important que 90 % ou 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est considérée comme vraiment petite.

3) Etablissement et coupure de courants capacitifs

La classe de disjoncteurs (C1 ou C2 suivant la CEI 62271-100) a été prise en compte, de sorte que des séquences différentes sont spécifiées en fonction de la classe considérée. Cette séquence se compose soit de 24 cycles O pour la classe C1 ou 48 cycles O pour la classe C2.

Les ouvertures sont faites en synchronisant l'ordre par rapport à l'onde de courant et en décalant l'ordre par intervalles de 15°.

Les facteurs de tension capacitive (k_c de 6.111.7 de la CEI 62271-100) seront réduits à 80 % par rapport à ceux qui sont prescrits pour les essais de type normalisés, à l'exception des disjoncteurs pour lesquels la valeur normalisée est 1,2 car une réduction à 80 % conduirait à une tension d'essai inférieure à la tension du réseau. Le Tableau 1 donne la correspondance entre le facteur de tension capacitive des essais capacitifs du programme d'endurance électrique, et le facteur de tension capacitive des essais de type normalisés.

Tableau 1 – Correspondance entre le facteur de tension capacitive utilisé pour les essais de type capacitifs normalisés et le facteur de tension capacitive à utiliser pour les essais de courants capacitifs du programme d'endurance électrique accrue

Facteur de tension capacitive k_c utilisé pour les essais normalisés de courants capacitifs de type	1,2	1,4	1,7
Facteur de tension capacitive k_c à utiliser pour les essais de courants capacitifs du programme d'endurance électrique accrue	1,12	1,12	1,36

Le critère d'acceptation sera en accord avec 6.111.11.1 b) de la CEI 62271-100, c'est-à-dire, soit sans aucun réamorçage sur 24 cycles O, ou, si un réamorçage se produit, la séquence d'essai est complétée puis répétée sans qu'aucun autre réamorçage ne se produise (classe C1) et soit sans aucun réamorçage sur 48 cycles O, ou, si un réamorçage se produit, la séquence d'essai est complétée puis répétée sans qu'aucun autre réamorçage ne se produise (classe C2).

L'exigence d'une séquence d'établissement et de coupure de courants capacitifs est justifiée par le fait qu'elle est effectuée fréquemment par un disjoncteur, et que par la suite il est nécessaire de démontrer sa capacité à établir et couper avec succès des courants capacitifs à la fin de sa période sans maintenance.

Les utilisateurs ont besoin et exigent qu'un disjoncteur, même après une certaine durée de service et après avoir cumulé un certain nombre de court-circuits, soit capable d'avoir un fonctionnement raisonnable en ce qui concerne sa probabilité de réamorçage.

La séquence d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs, en tant que séquence d'essais de type indépendante, exige un grand nombre d'ouvertures et comprend une procédure d'essais où le nombre d'essais effectués avec la durée d'arc minimale est tel qu'un facteur réducteur du nombre d'essais exigés est obtenu, ce qui permet d'avoir une démonstration de la probabilité de réamorçage à partir des essais de laboratoire.

La séquence d'établissement et de coupure de courants capacitifs, qui fait partie des essais d'acceptation des essais d'endurance électrique, est conçue pour démontrer qu'un niveau probable de performance raisonnable est conservé par les disjoncteurs qui approchent la fin de leur période sans maintenance, du point de vue de leur nombre de court-circuits cumulés.

Les estimations statistiques ont montré que le facteur de tension capacitive réduit, en combinaison avec l'absence d'essais lors de la durée d'arc minimale, rend, dans approximativement 25 % des cas, cette procédure d'essai d'acceptation aussi hostile que l'essai de type normalisé de coupure de courant capacitif par rapport à la probabilité de réamorçage.

Prenant en compte que la longueur de ligne aérienne, obtenue par la collecte d'informations, est relativement courte, le courant d'essai à utiliser correspond à la séquence d'essai 1 (10 % à 40 % du courant assigné en coupure de courants capacitifs pour le disjoncteur concerné).

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont réalisés avec une pression assignée pour la manœuvre, l'isolement et la coupure.

Il convient de réaliser des essais à vide aux conditions assignées après les essais d'acceptation (pour information seulement).

4) Vérification d'état

Il convient de réaliser un essai de tension comme vérification d'état, en accord avec 6.2.11 de la CEI 62271-100, mais avec la pression assignée pour la manœuvre, l'isolement et la coupure, comme essai final d'acceptation. Cet essai a pour but de donner une confiance suffisante dans la capacité du disjoncteur à avoir une tenue en tension entre contacts suffisante à la fin du programme d'endurance électrique, sans que cela nécessite des inspections (visuelles) qui pourraient être de nature subjective. Aucun examen visuel n'est exigé après la vérification d'état.

4.2 Qualification de l'endurance électrique accrue obtenue en dehors des essais de type

Les Tableaux 2 et 3 résument les types d'essais, les critères d'acceptation et les conditions d'essais à utiliser pour la qualification en endurance électrique accrue obtenue en dehors des essais de type.

Pour faciliter la réalisation des essais, l'ordre donné dans le Tableau 2 et Tableau 3 des manœuvres de coupure à T10, T60 durant la période d'essais d'usure et d'acceptation peut être changé.

Tableau 2 – Séquence d'essais et critères pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type

Pouvoir de court-circuit assigné en court-circuit	≤ 20 kA	25 kA	31,5 kA	40 kA	50 kA	63 kA	80 kA
Type d'essais							
Essais à vide	Suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100 (voir 4.1.a)						
Essais d'usure							
Essais à vide	Suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100, avec tensions pour la manœuvre et pression pour la coupure aux conditions assignées (voir 4.1.b)						
Manœuvre de coupure T60 (nombre de O)	18	15	12	10	8	7	5
Manœuvre de coupure T10 (nombre de O)	9						
Essais à vide	Suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100, avec tensions pour la manœuvre et pression pour la coupure aux conditions assignées (voir 4.1.b)						
Essais d'acceptation							
T10	Selon la CEI 62271-100, avec le changement suivant: manœuvres d'ouverture simple						
L75 avec 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	Selon la CEI 62271-100, avec les variations suivantes: - manœuvres d'ouverture simple - réduction du courant d'essai à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit en augmentant l'impédance du circuit d'alimentation						
LC1	- Pour les disjoncteurs de classe C1: 0 réamorçage pendant 24 O ou 1 réamorçage pendant 48 O - Pour les disjoncteurs de classe C2: 0 réamorçage pendant 48 O ou 1 réamorçage pendant 96 O						
Essais à vide	Suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100, avec tensions pour la manœuvre et pression pour la coupure aux conditions assignées (voir 4.1.c)						
Vérification d'état	Selon 6.2.11 de la CEI 62271-100, avec tensions pour la manœuvre et pression pour la coupure aux conditions assignées (voir 4.1.c)						
<p>NOTE Le nombre de manœuvres de coupure T60 durant la période d'essais d'usure est basé sur l'hypothèse selon laquelle 3 manœuvres de coupure avec 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sont réalisées lors de la période d'acceptation. Lorsque le nombre de coupures effectuées lors de la période d'acceptation est prévu pour être supérieur à 3 (c'est-à-dire lorsque les essais synthétiques sont réalisés), ceci signifie que lorsque 3 essais sont attendus durant la période d'acceptation (par exemple 4 en essais synthétiques), il convient que le nombre d'essais durant la période d'usure soit réduit en conséquence. Il est recommandé de réaliser tous les essais supplémentaires durant la période d'acceptation avec la TTR.</p>							

Les conditions d'essais sont données dans le Tableau 3. Il convient de réaliser les essais avec les valeurs assignées de pression (pour les manœuvres et coupures) et de tensions auxiliaires.

Tableau 3 – Conditions d'essais pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type

Type d'essais	Manœuvres	Tension d'essai/courant d'essai	Tension et pression de manœuvre pour les coupures et rétablissements	Durée d'arc
Essais d'usure				
Essais à vide	Selon 6.102.6 de la CEI 62271-100		Minimum	
Essais à vide	Selon 6.102.6 de la CEI 62271-100 mais avec pression assignée pour la manœuvre, l'isolement et la coupure		Assignées	
T60	Ouvertures seulement	Selon les essais de type T60 suivant 6.106.3 de la CEI 62271-100 sans TTR	Assignées	Durée d'arc moyenne des essais de type T60
T10	Ouvertures seulement	Selon les essais de type T10 suivant 6.106.1 de la CEI 62271-100 sans TTR	Assignées	Durée d'arc moyenne des essais de type T10
Essais à vide	Selon 6.102.6 de la CEI 62271-100 mais avec pression assignée pour la manœuvre, l'isolement et la coupure		Assignées	
Essais d'acceptation				
T10	Ouvertures seulement	Selon les essais de type T10 suivant 6.106.1 de la CEI 62271-100	Assignées	Voir NOTE 1
L75 avec 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	Ouvertures seulement	Selon 6.109.4 de la CEI 62271-100. Réduction du courant d'essai à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit en augmentant l'impédance du circuit d'alimentation (voir NOTE 4)	Assignées	Voir NOTE 1
LC1		Selon 6.111 de la CEI 62271-100. La tension d'essai est la valeur la plus élevée entre, d'une part 80 % de la tension d'essai spécifiée pour les essais de type et, d'autre part la valeur correspondant à un facteur de tension de 1,12 (voir Tableau 1)	Assignées	Avec séparations des contacts réparties à intervalles de 15° (degrés électriques)
Essais à vide	Selon 6.102.6 de la CEI 62271-100 mais avec pression assignée pour la manœuvre, l'isolement et la coupure		Assignées	
Vérification d'état	Selon 6.2.11 de la CEI 62271-100 mais avec pression assignée pour la manœuvre, l'isolement et la coupure		Assignées	

NOTE 1 Pour les essais d'acceptation T10 et L₇₅ avec courant à 60 %, les durées d'arc peuvent être différentes de celles obtenues pendant les essais de type car les pressions pour la manœuvre et pour la coupure peuvent être différentes, ou en raison de l'usure du disjoncteur. Toutefois, il convient que la plage complète de coupure soit donnée ainsi que la durée d'arc minimale.

NOTE 2 Pour les essais d'usure T10 et T60, les essais en 50 Hz couvrent les exigences en 60 Hz, ce qui indique que les essais ont été réalisés avec une durée d'arc moyenne appartenant à 50 Hz. Pour l'essai d'acceptation LC1, les essais en 60 Hz couvrent les exigences en 50 Hz.

NOTE 3 L'unité d'essai selon 6.102.4.2 de la CEI 62271-100 est autorisée.

NOTE 4 En essais synthétiques, cette condition est plus facilement satisfaite en concevant le circuit pour la séquence d'essais L₇₅, et en insérant ensuite une réactance supplémentaire égale à la réactance de ligne artificielle dans le circuit synthétique d'alimentation.

4.3 Qualification de l'endurance électrique accrue combinée à des essais de type

Lorsqu'une qualification d'endurance électrique accrue combinée à des essais de type est souhaitée, le fait d'imposer des contraintes trop rigoureuses peut nuire à la viabilité économique d'une telle combinaison.

Afin d'assurer une liberté maximale dans ce programme combiné durant les essais d'usure, le nombre de coupures à T60 avec une durée d'arc moyenne peut être remplacé par d'autres séquences d'essais. Destinée uniquement à cette qualification, l'Equation (1) ci-dessous donne les équivalences entre les coupures effectuées avec une durée d'arc moyenne et les valeurs courantes utilisées pendant les essais de type et les coupures à T60 avec une durée d'arc moyenne.

Tableau 4 – Nombre équivalent de coupures

Une coupure simple avec une durée d'arc moyenne et une valeur courante telle que	Nombre équivalent de coupures de courants à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit (T60)
T10	0,01
OP2	0,15
T30	0,25
T60	1

NOTE Pendant les essais de type, certaines coupures supplémentaires peuvent survenir sans raison précise. Dans ce cas, il y a lieu que l'évaluation de l'équivalence en termes d'usure soit réalisée en fonction de la durée d'arc réelle (en supposant que l'usure soit proportionnelle à la durée d'arc pour le même courant).

$$0,01N_{10} + 0,15N_{OP2} + 0,25N_{30} + N_{60} = M_{90} \quad (1)$$

avec

- N_{10} le nombre de coupures à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit;
- N_{OP2} le nombre de coupures lors de la séquence d'essais OP2;
- N_{30} le nombre de coupures à 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit;
- N_{60} le nombre de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit;
- M_{90} le nombre (d'essais T60 dans le programme d'essais combinés) tel que défini dans le Tableau 5 destiné à couvrir 90 % des contraintes électriques cumulées sur 25 ans.

Tableau 5 – Nombre défini M_{90} de nombre d'essais T60 combinés avec les essais de type

Pouvoir de court-circuit assigné en court-circuit	≤ 20 kA	25 kA	31,5 kA	40 kA	50 kA	63 kA	80 kA
M_{90}	18	15	12	10	8	7	5

En plus des critères d'équivalence exprimés dans l'Equation (1), il convient de remplir les exigences suivantes:

- Il convient que le programme d'essais combinés inclut au moins 3 manœuvres de coupure avec courant à 60 %, même lorsque dans la partie de l'essai de type du programme combiné, une usure suffisante est obtenue.
- Il convient que le programme d'essais combinés inclut au moins 9 manœuvres de coupure avec courant à 10 %, même lorsque dans la partie de l'essai de type du programme combiné, une usure suffisante est obtenue.

- Il est recommandé que les valeurs du courant de coupure considéré dans l'Equation (1) soient au maximum de 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

Il convient que la période d'acceptation soit conforme aux Tableaux 2 et 3.

L'ordre des essais dans la période d'essais d'usure du programme combiné est arbitraire.

Une équation générale supplémentaire considérant l'équivalence de n'importe quel courant (autre que les valeurs de la séquence d'essais bien définies) peut être trouvée dans l'Equation (A.1) en A.6.2.

Dans le Tableau 6, un exemple de combinaison d'essais de type avec un essai d'endurance électrique accrue est donné.

Tableau 6 – Exemple de combinaison d'essais de type avec l'essai E2 pour un disjoncteur 50 kA dans un essai synthétique

Service	Nombre prévu de coupures	Nombre équivalent de contraintes à l'arc T60	Applicable à la période d'essais d'usure	Applicable à la période d'essais d'acceptation
Essais de type seulement				
T100s	5	Non applicable	Non: courant > 60 %	Non
T100a	4		Non: courant > 60 %	Non
L ₇₅	5		Non: courant > 60 %	Non
L ₉₀	5		Non: courant > 60 %	Non
DEF (Double défaut de mise à la terre – en anglais: <i>Double Earth Fault</i>)	1		Non: courant > 60 %	Non
SEF (Simple défaut de mise à la terre - en anglais: <i>Single Earth Fault</i>)	1		Non: courant > 60 %	Non
LC1	Variable		Non	Non
LC2	Variable		Non	Non
Section combinée du programme d'essais (essais de type + essai d'usure pour la qualification E2)				
OP2	4	0,6	Oui	Non
T30	5	1,25	Oui	Non
T10	5	0,05	Oui	Non
T10 supplémentaire à l'essai	4 jusqu'à 9 T10	0,04	Oui	Non
T60	5	5	Oui	Non
T60 additional to type test	1	1	Oui	Non
Somme intermédiaire		7,9 (< 8 du Tableau 5, nécessité d'essai supplémentaire)		
Essais d'acceptation pour la qualification E2				
L ₇₅ avec courant à 60 %	4	1 (voir NOTE)	Oui, 1 essai compte	Oui
T10	4	Non applicable	Non	Oui
LC1	Voir Tableau 2	Non applicable	Non	Oui
Somme		8,9 (> 8 du Tableau 5)		
NOTE A cause des essais synthétiques, 1 des 4 essais à 60 % dans la période d'essais d'acceptation peut être ajouté au 7,9 durant la période d'essais d'usure, en ajoutant 8,9 > 8 du Tableau 5 (voir aussi la NOTE du Tableau 2).				

Pour faciliter la réalisation des essais, l'ordre des essais T10, T60 peut être changé.

Annexe A (informative)

Notes explicatives

A.1 Introduction

Les programmes d'essai d'endurance électrique accrue pour des tensions inférieures et égales à 52 kV ont déjà été présentés dans la CEI 62271-100. De nouvelles conceptions de disjoncteurs à maintenance réduite sont maintenant disponibles, avec des propriétés qui restent à démontrer sur leur période sans maintenance définie. Il y a aussi une tendance croissante de plusieurs exploitants à installer des équipements avec des spécifications plus proches des besoins qu'avant et une demande croissante pour une «alimentation de qualité». Ces points montrent la nécessité de démontrer le fonctionnement correct du disjoncteur tout au long de la période sans maintenance prévue, et, sur cette base, l'introduction de programmes d'endurance électrique pour des tensions assignées supérieures à 52 kV peut être considérée.

Parallèlement, il est reconnu que tout nouveau programme d'essais d'endurance électrique accrue est, en principe, fondé sur des statistiques de défauts en court-circuit réelles ainsi que sur un processus valable et ayant une bonne traçabilité pour la détermination du programme d'essais. Il convient d'éviter des sur-spécifications qui conduisent à un surcoût des disjoncteurs.

A.2 Détermination des programmes d'essai d'endurance électrique accrue

Le but de cette annexe est de présenter les informations, les hypothèses ainsi que la méthodologie adoptée pour sélectionner les programmes d'essais d'endurance électrique accrue des disjoncteurs à haute tension.

Les paragraphes suivants décrivent les données recueillies, leur nature statistique, le choix ainsi que les hypothèses faites et l'approche méthodologique utilisée pour établir les programmes d'essais d'endurance électrique accrue du présent rapport technique. L'objet de ce présent rapport est de fournir les informations utilisables pour les procédures d'essais afin que les futurs amendements reposent sur une critique positive et le retour d'information sur ce qui a été utilisé et recueilli dans le présent rapport technique.

A.3 Données recueillies

Il convient que le programme d'essais d'endurance électrique représente au mieux les statistiques de contraintes réelles (en terme d'usure électrique) dans ce domaine. Plus le nombre de données recueillies est élevé plus celles-ci seront représentatives².

A.3.1 Pays impliqués dans la collecte des données

Plusieurs pays ont participé à la collecte des données. Suivant les situations, une ou plusieurs compagnies d'électricité différentes peuvent exploiter des réseaux électriques à l'intérieur d'un même pays. Dans certains cas, il a également été possible de recueillir des données provenant de plusieurs compagnies d'électricité à l'intérieur d'un même pays, toujours dans l'optique de rassembler des données les plus représentatives possibles sur les

² Des données ont été collectées suite à une coopération entre le CIGRE WG 13.08 et le SC 17A/WG 29 de la CEI dans les années 1996. En 2005, de nouvelles données de défaut détaillées provenant du Japon sont venues s'ajouter [3], utilisées pour vérifier le modèle de calcul statistique menant au nombre d'essais T60 nécessaires dans le programme d'essais d'endurance électrique.

statistiques de contraintes d'usure électrique du pays. La liste des pays participants est donnée dans le Tableau A.13.

Tableau A.1 – Liste des pays impliqués dans la collecte des données

BELGIQUE	FRANCE
PAYS-BAS	SUISSE
BRÉSIL	ÉTATS-UNIS
ITALIE	SUÈDE
ESPAGNE	ALLEMAGNE
JAPON	CANADA
INDE	

Plusieurs types de données par classe de tension ont été étudiés, par exemple:

- nombre de courts-circuits des lignes aériennes pour 100 km/an;
- longueur moyenne des lignes aériennes. Lorsque cela était possible, la distribution statistique des longueurs de lignes aériennes proches de la longueur moyenne a également été recueillie;
- nombre de phases impliquées lors des défauts, c'est-à-dire le pourcentage de défauts en monophasé, biphasé et triphasé;
- pourcentage de défauts fugitifs (O-C), semi-fugitifs (O-CO-C) et permanents (O-CO-CO);
- rapport entre le courant de court-circuit à l'installation physique du disjoncteur et le pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur et éventuellement sa distribution statistique. Cette information est capitale pour établir un programme d'essais d'endurance électrique fondé sur l'exploitation réelle et non totale des caractéristiques assignées des disjoncteurs.

A.3.2 Nature statistique des données et choix des données représentatives

La collecte de données dont certaines ont une distribution statistique interne et qui plus est proviennent de différents pays, pose le problème de l'identification d'une « valeur » sélectionnée selon des approches spécifiques. En règle générale, à partir des données collectées, les valeurs moyennes ont été utilisées. Les exceptions à cette règle sont

- la longueur de ligne aérienne,
- le nombre de défauts pour 100 km de ligne aérienne par an,
- le rapport entre le courant de court-circuit présent au niveau de la barre de raccordement et le pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur. Il est courant de prévoir, à chaque emplacement, des « marges » suffisantes pour permettre l'évolution du réseau tout au long de la durée de vie prévue du disjoncteur. Cela implique l'installation de disjoncteurs avec un pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur au courant de court-circuit disponible à la barre de raccordement où est situé le disjoncteur et ce, en fonction des différentes configurations possibles du réseau. Un autre aspect à prendre en considération est la politique adoptée par les exploitants visant à sélectionner, par classe de tension et autant que possible, un petit nombre (1 ou 2 au maximum) de niveaux de pouvoirs de coupure assignés en court-circuit pour les disjoncteurs à installer.

Pour ces paramètres, la distribution des moyennes du réseau était utilisée pour construire une distribution statistique des grandeurs concernées. La sélection des valeurs au 90^{ième} par pourcentage de la distribution des contraintes à l'arc en service qui en résulte est conforme aux critères généraux des normes CEI couvrant 90 % des cas. Depuis que les gestionnaires

3 Afin d'éviter de possibles malentendus avec les pays qui ne figurent pas dans le tableau, il est utile de préciser que les données ont été recueillies grâce à des contacts directs entre les membres du GT-13.08 de CIGRE et GT-29 du sous-comité 17A de la CEI avec les représentants des compagnies d'électricité. Ce contact direct était nécessaire afin d'obtenir les données dans les délais spécifiés.

de réseau fournissent des valeurs moyennes pour la plupart des données (longueur des lignes aériennes, densité des défauts, etc.), il convient d'indiquer que 90 % des valeurs utilisées pour mener les programmes d'essais correspondent à 90 % des valeurs moyennes fournies par chaque gestionnaire.

La sélection de la valeur au 90^{ième} par pourcentage a été établie en tenant compte de:

- la tendance croissante des exploitants de prévoir « moins de marges » qu'auparavant et l'influence de la séparation et de la dérégulation sur le marché de l'électricité qui provoquerait une hausse d'exploitation des équipements déjà installés;
- la pratique courante consistant à couvrir 90 % des cas concernés;
- l'augmentation des courants de court-circuit entraînée par l'expansion future des réseaux, particulièrement significative dans les pays en voie de développement.

A.3.3 Résumé des données de référence utilisées

Le Tableau A.2 récapitule les données de référence utilisées à partir des informations rassemblées. Les valeurs sont données par classe de tension ainsi que les indications des moyennes ou des valeurs au 90^{ième} par pourcentage de la distribution des données collectées. Les valeurs ont été utilisées comme sous-ensemble d'entrée pour établir le programme d'essais d'endurance électrique accrue.

Tableau A.2 – Données de référence utilisées

	$U_r < 100$ kV	$100 < U_r < 200$ kV	$200 < U_r < 300$ kV	$300 < U_r < 500$ kV	$U_r = 550$ kV	$U_r = 800$ kV
Nombre de défauts pour 100 km/an (valeur au 90 ^{ième} par pourcentage)	17,3	8,3	4,8	3,3	4,2	1,7
Période sans maintenance (années)	25	25	25	25	25	25
Longueur de ligne aérienne (km), valeur au 90 ^{ième} par pourcentage	39	76	107	125	153	268
% d'exploitation ^a (valeur au 90 ^{ième} par pourcentage)	62	73	76	78	74	66
% défauts en monophasé	64	65	74	83	90	93
% défauts en biphasé	26	29	20	14	10	6
% défauts en triphasé	10	6	6	3	0	1
% O-C	68,5	66,5	68,5	65	74	60
% O-CO-C	16,5	18,5	16,5	20	11	25
% O-CO-CO	15	15	15	15	15	15

^a Exploitation: rapport entre le courant de court-circuit à l'emplacement du disjoncteur et le pouvoir de coupure en court-circuit de ce disjoncteur.

A.4 Autres données recueillies

Afin de déterminer les données statistiques des défauts, c'est-à-dire le nombre de défauts pour un courant donné, l'impédance du réseau en séquence homopolaire ainsi que les impédances en séquence directe et homopolaire des lignes aériennes sont requis. Pour les rapports X_0/X_1 des réseaux, les données ont été déduites des calculs de courants de court-circuit effectués par les compagnies d'électricité.

Pour les réseaux à 245 kV (avec plus de 250 nœuds), ce rapport se situe entre 0,56 (10^{ième} par pourcentage) et 2,77 (90^{ième} par pourcentage) avec une valeur moyenne de 1,68. Pour les réseaux à 420 kV (avec plus de 130 nœuds), ce ratio se trouve entre 0,94 (10^{ième} par pourcentage) et 3,24 (90^{ième} par pourcentage) avec une valeur moyenne de 2,01. Pour les cas où ces valeurs n'étaient pas disponibles, on suppose que le rapport X_0/X_1 est égal à 2.

Les distributions statistiques utilisées pour les impédances en séquence homopolaire et directe ont été extraites de la littérature existante en considérant les caractéristiques dimensionnelles des pylônes et des conducteurs pour chaque niveau de tension.

A.5 Suppositions en cas de données manquantes et simplifications

Dû à un manque d'information, les suppositions suivantes ont été faites:

- la probabilité des défauts est une distribution uniforme le long de la ligne aérienne;
- tous les paramètres variant statistiquement sont indépendants les uns des autres;
- les résultats de l'enquête du CIGRE sont valables pour tous les disjoncteurs à haute tension;
- l'arc de défaut a une influence négligeable sur le courant de court-circuit;
- tout gestionnaire de réseau, participant à l'enquête du WG13.08, a le même poids dans le résultat final;
- l'effet d'usure des courants de différentes magnitudes peut être comparé par un facteur équivalent défini par l'Equation (A.1) de A.6.2.
- la résistance de ligne aérienne n'est pas incluse.

A.6 Méthode pour les données statistiques de défauts sur toute la période sans maintenance du disjoncteur

La méthode est basée sur des défauts générés par ordinateur sur des réseaux modèles, qui ont la même fréquence d'occurrence, la même distribution de la nature de phase 1, phase 2 et phase 3, la même persistance du défaut (O-C ou O-CO-C ou O-CO-CO), et le même partage des contraintes de phase comme décrit par les statistiques collectées par le CIGRE WG 13.08.

En pratique, ceci implique la construction de fonctions de distribution adéquates qui s'adaptent de façon optimale aux champs de données des grandeurs concernées. Pour la densité des défauts et la longueur des lignes aériennes, des fonctions de distributions de Weibull à deux dimensions ont été adoptées puisque des données suffisamment indépendantes ont été mises à disposition par 16 gestionnaires de réseaux ayant participé à l'enquête du WG 13.08. Pour l'impédance des stations et des lignes aériennes, des fonctions de distribution gaussienne ont été utilisées parce que seules des valeurs moyennes, de 10 ou 90 pourcents étaient disponibles.

Ensuite, avec un « dé », ayant un poids « Gaussien » ou de « Weibull » approprié à la fonction de distribution des paramètres du système (longueur de la ligne aérienne et – impédances, intensité de source), un système est défini.

Après, dans le système, un défaut est généré de manière aléatoire sur la ligne aérienne, et avec le « dé » approprié (Gaussien, Weibull ou uniforme) le type du défaut, la persistance et les phases des contraintes sont déterminés. Ainsi, un courant de défaut est calculé, qui est traduit en une fraction équivalente à une contrainte de courant à 60 % avec l'Equation (A.1) de A.6.2.

Ce défaut générant cette procédure est répété sur le même système un nombre de fois, selon la distribution de densité du défaut. La somme de toutes les fractions équivalentes de courant à 60 % est alors la contrainte électrique, exprimée en nombre de contraintes de courant à 60 %, pour un disjoncteur particulier.

Cette procédure est répétée pour plusieurs systèmes (de l'ordre de 10 000). Ainsi, une distribution du nombre d'essais à 60 % équivalents apparaît. Le 90^{ième} par pourcentage de cette distribution est pris comme 90^{ième} par pourcentage de la contrainte à l'arc que les disjoncteurs en service ont à absorber.

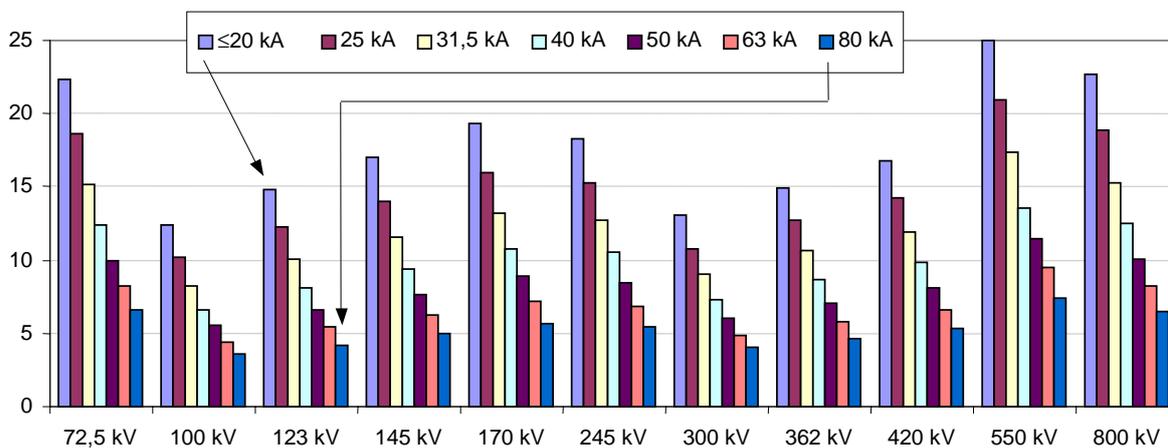
Sachant que la plupart des données statistiques sont collectées pour une certaine classe de tensions, toute la procédure est répétée pour chaque classe de tensions et chaque pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

Les calculs du nombre de coupures de courant aux différents pourcentages du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sont résumés dans le Tableau A.3 ci-dessous.

Tableau A.3 – Nombre de manœuvres de coupure pour différentes plages de courant de coupure en service durant 25 ans

	Pouvoir de court-circuit assigné en court-circuit (kA)						
	≤ 20	25	31,5	40	50	63	80
Plage de coupures en service	Nombre estimé de manœuvres de coupure en service durant 25 ans						
$I_{sc}/I_r \leq 0,1$	10	13	17	21	26	30	34
$0,1 < I_{sc}/I_r \leq 0,3$	32	31	29	25	21	18	14
$0,3 < I_{sc}/I_r \leq 0,6$	8	6	5	4	3	3	2
$I_{sc}/I_r > 0,6$	1	0	0	0	0	0	0

Il a été observé à partir des données que la tendance indiquée dans le Tableau A.3 est similaire pour chaque classe de tensions (72,5 kV – 800 kV), voir Figure A.1, où le nombre estimé de contraintes T60 est tracé pour un nombre de tensions assignées (axe horizontal) et de courants assignés (hauteur des barres).



IEC 424/08

Figure A.1 – Nombre estimé de contraintes T60 équivalentes pour différentes tensions assignées et pouvoirs de coupure assigné en court-circuit

L'exigence d'inclure dans tous les cas 3 fois un essai T60 et 9 fois un essai T10, même dans le programme d'essais combinés avec les essais de type (voir 4.3), est basée sur l'observation du fait que la coupure en service est principalement entre 10 % et 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

En consultant le Tableau A.3, on constate qu'il y a vraiment peu de coupures entre 60 % – 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur. Cela est cohérent avec les données relatives aux rapports entre les niveaux des courants de court-circuit dans les installations et au courant existant en court-circuit à l'installation.

A.6.1 Inconvénients d'un programme d'essais «sur mesure» par rapport à un programme d'essais « moyen »

Des programmes d'essais «sur mesure» en fonction des tensions et des pouvoirs de coupure assignés sont utilisés ici pour représenter les contraintes d'endurance électrique des disjoncteurs installés en réseau. Cette approche a l'avantage de représenter assez fidèlement les contraintes réelles en service en terme d'endurance électrique. En contrepartie, les programmes d'essais «sur mesure» ont pour inconvénient de ne pas permettre la réalisation de programmes d'essais «enveloppe» dans le cas où une conception donnée de disjoncteur puisse rencontrer des exigences pour plusieurs niveaux de tension et/ou pouvoirs de coupure assignés. Par conséquent, cette approche exigerait des coûts d'essais élevés et serait donc peu économique.

Les programmes d'essais basés sur les contraintes moyennes en réseau offrent l'avantage de permettre la réalisation d'essais «enveloppe» à différentes valeurs de tension et de pouvoirs de coupure assignés avec une conception donnée de disjoncteur. En même temps, le fait de prendre la moyenne des contraintes en réseau mène à l'application de contraintes plus sévères pour certaines conceptions et moins sévères pour d'autres conceptions par rapport à un programme d'essais «sur mesure».

Considérant les avantages et désavantages des deux approches ci-dessus, celle recommandée comme point de départ pour définir les programmes d'essais d'endurance électrique accrue, est donnée par l'Equation (1) de 4.3.

A.6.2 Equivalence du courant arbitraire pour les valeurs de courant normalisées

Le nombre de coupures de courants de défaut vu par un disjoncteur durant une période équivalente à 25 années en service, nombre qui a été obtenu à partir de l'analyse des défauts en réseau, semble peu réaliste à faire tel quel en laboratoire d'essais. Des simplifications étaient nécessaires afin de limiter le nombre d'essais et le temps d'essais tout en gardant les contraintes d'usure électrique imposées aux disjoncteurs. Cela a été rendu possible grâce à l'utilisation d'une loi d'équivalence entre des coupures de courants à une valeur donnée et un nombre de coupures de courants à T60. Cette loi a été définie et validée expérimentalement dans les années 80 en France sur des disjoncteurs à simple pression de SF₆ de 420 kV. L'adoption de cette loi par la France a permis de simplifier ses propres programmes d'essais d'endurance électrique. Les détails et les résultats de cette méthode sont présentés en [4].

La loi d'équivalence peut se résumer ainsi:

$$\begin{aligned}
 F_{60} &= 9,35 \left(\frac{I}{I_{sc}} \right)^3 && \text{si } I < 0,35 I_{sc} \\
 F_{60} &= 2,38 \left(\frac{I}{I_{sc}} \right)^{1,7} && \text{si } I \geq 0,35 I_{sc}
 \end{aligned}
 \tag{A.1}$$

où F_{60} est la fraction équivalente des contraintes à l'arc T60.

A.7 Nombre équivalent proposé de manœuvres de coupure T60 pour couvrir les conditions de service spécial

Il faut noter que les disjoncteurs ayant une capacité d'endurance électrique accrue, ne sont pas destinés à une utilisation dans des situations où les contraintes à l'arc électrique (qui sont une combinaison d'une haute probabilité d'apparition de défauts et d'un haut niveau de

courant de défaut) vont au-delà du 90^e centile de ces contraintes, comme résumé par l'enquête du CIGRE [1] et les calculs basés sur ce matériel [3]. En d'autres termes, pour les disjoncteurs sujets à de très hautes contraintes à l'arc électrique, un essai d'usure sur mesure équivalent est nécessaire et basé sur le nombre de manœuvres à 60 % du pouvoir de coupure.

Le Tableau A.4 montre le nombre équivalent calculé M_{99} de manœuvres de coupure à 60 % du pouvoir de coupure, basé sur 99 % des contraintes estimées sur 25 ans.

Tableau A.4 – Nombre estimé M_{99} de manœuvres de coupure T60 pour couvrir 99 % de l'ensemble des contraintes

Pouvoir de court-circuit assigné en court-circuit	≤ 20 kA	25 kA	31,5 kA	40 kA	50 kA	63 kA	80 kA
M_{99}	39	33	27	22	19	15	12

Cette situation renvoie à des conditions de service spécial, par exemple des zones avec des niveaux kérauniques exceptionnellement importants, sans protection de câble de terre, avec des conditions climatiques exceptionnelles.

Bibliographie

- [1] CIGRE brochure 83, *Final report of the second international enquiry on high-voltage circuit-breaker failures and defects in service*, 1994
 - [2] CIGRE TF A3.01, *Statistical Analysis of Electrical Stresses on High-Voltage Circuit-Breakers in Service*, *Electra*, no. 220 , pp. 24-26, Juin 2005
 - [3] R.P.P. Smeets, H. Ito, *Electrical Endurance of Circuit Breakers in Service* CIGRE A3/B3 Colloquium, papier 102, 2005
 - [4] Pons, A. Sabot, A. Babusci, G. *Electrical endurance and reliability of circuit-breakers. Common experience and practice of two utilities*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, N°1, janvier 1993
 - [5] Y. Nakada, I. Tagaki, M. Shin, J. Kida, M. Toyoda, H. Ito, “*Reliability and Electrical Stress Survey on High Voltage Circuit-Breakers in Japan*”, Conférence CIGRE, papier A3-205, 2006
 - [6] CEI 62271-101, *Appareillage à haute tension – Partie 101: Essais synthétiques*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch