

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62271-310

Première édition
First edition
2004-04

Appareillage à haute tension –

Partie 310:

**Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs
de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV**

High-voltage switchgear and controlgear –

Part 310:

**Electrical endurance testing for circuit-breakers
of rated voltage 72,5 kV and above**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 62271-310:2004

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Customer Service Centre

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

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

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 62271-310

Première édition
First edition
2004-04

Appareillage à haute tension –

Partie 310:

**Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs
de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV**

High-voltage switchgear and controlgear –

Part 310:

**Electrical endurance testing for circuit-breakers
of rated voltage 72,5 kV and above**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	14
1 Domaine d'application	16
2 Référence normatives.....	16
3 Termes et définitions	16
4 Procédure d'essais	16
4.1 Qualification de l'endurance électrique accrue obtenue en dehors des essais de type	18
4.2 Qualification de l'endurance électrique accrue combinée à des essais de type	22
Annexe A (informative) Notes explicatives	30
Bibliographie.....	54
Tableau 1 – Séquence d'essais et critères pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type	20
Tableau 2 – Conditions d'essais pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type	22
Tableau 3 – Nombre équivalent de coupures	24
Tableau 4 – Exemple de programme de qualification d'endurance électrique accrue combiné à des essais de type	26
Tableau 5 – Conditions d'essais pour le programme de qualification d'endurance électrique accrue combiné aux essais de type	28
Tableau A.1 – Liste des pays impliqués dans la collecte des données	32
Tableau A.2 – Données de référence utilisées	34
Tableau A.3 – Nombre de coupures à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	38
Tableau A.4 – Nombre de coupures à 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	38
Tableau A.5 – Nombre de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	38
Tableau A.6 – Nombre de coupures à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	38
Tableau A.7 – Nombre de coupures à 90 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	40
Tableau A.8 – Nombre de coupure à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	40
Tableau A.9 – Nombre total de coupures à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	42
Tableau A.10 – Nombre total de coupures à 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	42
Tableau A.11 – Nombre total de coupures à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	42
Tableau A.12 – Nombre total de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	44

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	15
1 Scope.....	17
2 Normative references	17
3 Terms and definitions	17
4 Test procedure	17
4.1 Extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests.....	19
4.2 Extended electrical endurance qualification combined with type tests.....	23
Annex A (informative) Explanatory notes	31
Bibliography.....	55
Table 1 – Test sequence and criteria for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests.....	21
Table 2 – Test conditions for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests.....	23
Table 3 – Equivalent number of breaking operations.....	25
Table 4 – Example of extended electrical endurance qualification programme combined with type tests.....	27
Table 5 – Test conditions for extended electrical endurance qualification programme combined with type tests.....	29
Table A.1 – List of countries involved in the data collection	33
Table A.2 – Used reference data	35
Table A.3 – Number of breaking operations at 10 % of the rated short-circuit breaking current.....	39
Table A.4 – Number of breaking operations at 30 % of the rated short-circuit breaking current.....	39
Table A.5 – Number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current.....	39
Table A.6 – Number of breaking operations at 75 % of the rated short-circuit breaking current.....	39
Table A.7 – Number of breaking operations at 90 % of the rated short-circuit breaking current.....	41
Table A.8 – Number of breaking operations at 100 % of the rated short-circuit breaking current.....	41
Table A.9 – Total number of breaking operations at 10 % of the rated short-circuit breaking currents.....	43
Table A.10 – Total number of breaking operations at 30 % of the rated short-circuit breaking currents.....	43
Table A.11 – Total number of breaking operations at 75 % of the rated short-circuit breaking current.....	43
Table A.12 – Total number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current.....	45

Tableau A.13 – Nombre de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit représentant les contraintes d'usure électrique avant les essais d'acceptation	46
Tableau A.14 – Nombre de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit pour satisfaire aux exigences d'usure.....	46
Tableau A.15 – Correspondance entre le facteur de tension utilisé pour les essais de courants capacitifs de type et le facteur de tension à utiliser pour les essais de courants capacitifs du programme d'endurance électrique accrue.....	52

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62271-310:2004

Withdrawn

Table A.13 – Number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current to represent the wear stage before acceptance tests	47
Table A.14 – Number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current to satisfy the wear requirements	47
Table A.15 – Correlation between voltage factors used for standard capacitive current type tests and voltage factors to be used for extended electrical endurance capacitive current acceptance tests	53

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62271-310:2004

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 310: Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 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 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.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
17A/629/DTR	17A/647A/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers
of rated voltage 72,5 kV and above**

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 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.

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

Enquiry draft	Report on voting
17A/629/DTR	17A/647A/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.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62271-310:2004

Withdrawn

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62271-310:2004

Withdrawn

**NUMÉROTATION COMMUNE DES PUBLICATIONS DE LA CEI 62271
TOMBANT SOUS LA RESPONSABILITÉ DU SC 17A ET DU SC 17C**

En accord avec la décision prise lors du meeting commun des SC 17A et 17C à Francfort, en juin 1998 (article 20.7 de 17A/535/RM), un système commun de numérotation sera établi pour les normes tombant sous la responsabilité du SC 17A et du SC 17C. La CEI 62271, sous le titre général *Appareillage à haute tension*, constitue la base de la norme commune.

La numérotation de ces normes suivra le principe suivant:

- a) Les normes communes préparées par le SC 17A et le SC 17C commenceront avec la CEI 62271-001;
- b) Les normes du SC 17A commenceront avec la CEI 62271-100;
- c) Les normes du SC 17C commenceront avec la CEI 62271-200;
- d) Les guides préparés par le SC 17A et le SC 17C commenceront avec le numéro CEI 62271-300.

Le tableau ci-dessous met en évidence les nouveaux numéros par rapport aux anciens:

COMMON NUMBERING OF IEC 62271 PUBLICATIONS FALLING UNDER THE RESPONSIBILITY OF SUBCOMMITTEES SC 17A AND SC 17C

In accordance with the decision taken at the joint SC 17A/SC 17C meeting in Frankfurt in June 1998 (item 20.7 of 17A/535/RM) a common numbering system will be established of the standards falling under the responsibility of SC 17A and SC 17C. IEC 62271, under the general title *High-voltage switchgear and controlgear*, is the basis of the common standard.

The numbering of these standards will apply the following principle:

- a) Common standards prepared by SC 17A and SC 17C will start with IEC 62271-001;
- b) Standards of SC 17A will start with IEC 62271-100;
- c) Standards of SC 17C will start with number IEC 62271-200;
- d) Guides prepared by SC 17A and SC 17C will start with the number IEC 62271-300.

The following table provides an overview of the relationship between the old and the new numbering:

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 62271-310:2004

**Numérotation commune des publications de la CEI 62271 tombant sous
la responsabilité du SC 17A et du SC 17C**

Série CEI 62271	APPAREILLAGE À HAUTE TENSION	Ancien numéro CEI, le cas échéant
Partie	Nouveau titre	
1	Spécifications communes ¹	CEI 60694
2	Qualification sismique pour tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV	-
100	Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension	CEI 60056
101	Essais synthétiques ¹	CEI 60427
102	Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif	CEI 60129
103	Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 52 kV ²	CEI 60265-1
104	Interrupteurs de tension assignée égale ou supérieure à 52 kV ²	CEI 60265-2
105	Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif	CEI 60420
106	Contacteurs pour courant alternatif et démarreurs de moteurs à contacteurs ²	CEI 60470
107	Combinés appareillage-fusibles à courant alternatif pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV	Nouveau
108	Interrupteurs de coupure à fonctions combinées ¹	Nouveau
109	Interrupteur de shuntage pour condensateurs série en courant alternatif	Nouveau
110	Etablissement et coupure de charge inductive ²	CEI 61233
200	Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV	CEI 60298
201	Appareillage sous enveloppe isolante pour courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 kV et inférieures ou égales à 38 kV ¹	CEI 60466
202	Postes préfabriqués haute tension/basse tension ¹	CEI 61330
203	Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 72,5 kV	CEI 60517
204	Lignes de transport haute tension à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV ²	CEI 61640
300	Guide pour la qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif ¹	CEI 61166
301	Normalisation dimensionnelle des bornes ²	IEC 60518
302	Guide pour la procédure d'essai d'établissement et de coupure de courants de court-circuit pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre ²	CEI 61633
303	Utilisation et manipulation de gaz hexafluorure de soufre (SF ₆) dans l'appareillage à haute tension ¹	CEI 61634
304	Spécifications complémentaires pour l'appareillage sous enveloppe de 1 kV à 72,5 kV destiné à être utilisé dans des conditions climatiques sévères ²	CEI 60932
305	Raccordement de câbles pour appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV – Câbles remplis d'un fluide ou à isolation extrudée – Extrémité de câble sèche ou remplie d'un fluide ¹	CEI 60859
306	Raccordements directs entre transformateurs de puissance et appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV ²	CEI 61639
307	Utilisation de l'électronique et des technologies associées dans les équipements auxiliaires de l'appareillage ²	CEI 62063
308	Guide pour la séquence d'essais T100a de coupure de courants de court-circuit asymétriques	Nouveau
309	Paramètres des TTR pour l'appareillage à haute tension de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV ²	Nouveau
310	Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV	Nouveau

¹ En préparation.

² A l'étude.

**Common numbering of IEC 62271 publications falling under
the responsibility of subcommittees SC 17A and SC 17C**

IEC 62271 series	HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR	Old IEC number, if any
Part	New title	
1	Common specifications ¹	IEC 60694
2	Seismic qualification for rated voltages of 72,5 kV and above	-
100	High-voltage alternating current circuit-breakers	IEC 60056
101	Synthetic testing ¹	IEC 60427
102	Alternating current disconnectors and earthing switches	IEC 60129
103	Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV ²	IEC 60265-1
104	Switches for rated voltages of 52 kV and above ²	IEC 60265-2
105	Alternating current switch-fuse combinations	IEC 60420
106	Alternating current contactors and contactor based motor-starters ²	IEC 60470
107	Alternating current switchgear-fuse combinations for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV ¹	New
108	Combined function disconnecting circuit-breakers ¹	New
109	Alternating-current series capacitor by-pass switches	New
110	Inductive load switching ²	IEC 61233
200	AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV	IEC 60298
201	AC insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 38 kV ¹	IEC 60466
202	High-voltage/low voltage prefabricated substations ¹	IEC 61330
203	Gas-insulated metal enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV	IEC 60517
204	High-voltage gas-insulated transmission lines for rated voltages of 72,5 kV and above ²	IEC 61640
300	Guide for seismic qualification of alternating current circuit-breakers ¹	IEC 61166
301	Dimensional standardization of terminals ²	IEC 60518
302	Guide for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers ²	IEC 61633
303	Use and handling of sulphur hexafluoride (SF ₆) in high-voltage switchgear and controlgear ²	IEC 61634
304	Additional requirements for enclosed switchgear and controlgear from 1 kV to 72,5 kV to be used in severe climatic conditions ²	IEC 60932
305	Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above – Fluid-filled and extruded insulation cables - Fluid-filled and dry type cable-terminations ¹	IEC 60859
306	Direct connection between power transformers and gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above ²	IEC 61639
307	Use of electronic and associated technologies in auxiliary equipment of switchgear and controlgear ²	IEC 62063
308	Guide for asymmetrical short-circuit breaking test duty T100a	New
309	TRV parameters for high-voltage switchgear and controlgear for rated voltages and above 1 kV and less than 100 kV ²	New
310	Electrical endurance testing for circuit-breakers of rated voltage 72,5 kV and above	New

¹ In preparation.

² Under consideration.

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 utilisateurs n'exigent pas d'endurance électrique accrue.

Cependant des constructeurs et des utilisateurs attachent de l'importance à une endurance électrique accrue pour les raisons suivantes:

- L'endurance électrique accrue de nouveaux types de disjoncteurs ne peut être prouvée complètement que par des essais en laboratoire. L'expérience en service recueillie jusqu'ici par CIGRE (voir par exemple la référence [1]³) est valable pour des conceptions plus anciennes et ne peut que partiellement être extrapolée à de nouvelles conceptions.
- 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.
- La dérégulation du marché de l'électricité entraîne une augmentation des conséquences d'une indisponibilité de disjoncteurs par suite d'un défaut ou d'une maintenance lourde.
- 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 donnent des informations concernant l'endurance électrique des disjoncteurs. Il est nécessaire de standardiser la manière avec laquelle ces informations sont données aux utilisateurs pour permettre de faire des comparaisons adéquates avant achat.

Les raisons données ci-dessus peuvent justifier de la nécessité d'un programme d'endurance électrique accrue pour les disjoncteurs.

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 de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV.

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

INTRODUCTION

Based on experience with existing high-voltage circuit-breakers in service and with system protection and maintenance policies, the majority of users do not currently require extended electrical endurance.

However, manufacturers and users have concerns about extended electrical endurance for the following reasons:

- Extended electrical endurance for new types of circuit-breakers can only be fully proven by laboratory tests. Field experience collected so far by CIGRE (see for example reference [1]³) is valid for older circuit-breaker designs and can only partly be extrapolated to new designs.
- 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.
- Deregulation of the electricity market increases the consequences of the unavailability of circuit-breakers due to a failure or heavy maintenance.
- There is a need to standardize a single extended electrical endurance programme to avoid the specification of different programmes from different users.
- Many manufacturers give 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 in order to make proper comparison when purchasing circuit-breakers.

The above reasons may support the need for an extended electrical endurance programme for circuit-breakers.

When extended electrical endurance capability is required, this capability is demonstrated by the standardized test programmes outlined below as applicable to line circuit-breakers rated 72,5 kV and above.

³ Figures in square brackets refer to the bibliography.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 310: Essais d'endurance électrique pour disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV

1 Domaine d'application

Ce rapport technique s'applique à la Classe E2 de disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV, prévus pour la manœuvre de lignes aériennes.

2 Référence 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 à haute tension*

CEI 60427, *Essais synthétiques des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

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 et que les autres pièces ne nécessitent qu'une maintenance minimale

4 Procédure d'essais

Les programmes d'essais sont basés sur une durée de vie de 25 ans.

Les essais doivent être effectués sur un spécimen identique, selon 6.1.2 et 6.101.1.1 de la CEI 62271-100, à un de ceux qui ont été soumis aux essais de type.

Il ne doit pas être effectué de maintenance intermédiaire pendant le programme d'essais d'endurance électrique accrue.

Les deux possibilités de programmes d'essais décrits en 4.1 et 4.2 sont divisées en une partie d'essais d'usure suivie par des essais d'acceptation.

Pendant la partie d'essais d'usure, le disjoncteur sera contraint avec les courants coupés cumulés associés mais, pour faciliter la réalisation des essais, sans TTR spécifiée, sauf lorsque des séquences d'essais de court-circuit sont utilisées comme indiqué en 4.2.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 310: Electrical endurance testing for circuit-breakers of rated voltage 72,5 kV and above

1 Scope

This technical report is applicable to class E2 circuit-breakers rated 72,5 kV and above, intended for use on overhead lines.

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: High-voltage alternating current circuit-breakers*

IEC 60427, *Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following definitions apply.

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, and only minimal maintenance of its other parts

4 Test procedure

The test programmes are based on a service life of 25 years.

The tests shall 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 submitted to type tests.

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

The alternative test programmes as described in 4.1 and 4.2 are divided into a wear stage followed by acceptance tests.

During the wear stage the circuit-breaker will be stressed with the associated accumulated interrupting current but, for convenience of testing, without specified TRV, except when basic short-circuit test duties are used as described in 4.2.

Les essais d'acceptation doivent suivre 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.

Le montage d'essais devrait être 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 le même gaz soit réutilisé lors du remplissage suivant du disjoncteur.

Il convient que l'état du disjoncteur après les essais satisfasse à 6.102.9.2 et 6.102.9.3 de la CEI 62271-100.

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.

NOTE 1 Pour les conceptions de disjoncteurs qui couvrent plusieurs pouvoirs de coupure assignés en court-circuit, il suffit d'effectuer les essais correspondant au pouvoir de coupure assigné en court-circuit le plus élevé.

NOTE 2 Voir l'Annexe A pour les explications, les données et les hypothèses qui ont conduit aux programmes décrits aux paragraphes suivants.

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

Les Tableaux 1 et 2 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.

The acceptance tests shall follow the wear stage of the test programmes. The purpose of these acceptance tests is to demonstrate the interrupting capability 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 depressurizing to enter the test cell, it is allowed to decrease the pressure in the circuit-breaker provided that the gas is reused when refilling the circuit-breaker.

The condition of the circuit-breaker after the test should comply with 6.102.9.2 and 6.102.9.3 of IEC 62271-100.

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.

NOTE 1 For circuit-breaker designs covering several rated short-circuit breaking currents, only tests for the highest rated short-circuit breaking current need to be performed.

NOTE 2 For rationale, data and assumptions behind the test programmes as described in the following subclauses, see Annex A.

4.1 Extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests

Tables 1 and 2 summarize the kind of tests, acceptance criteria and test conditions to be used for the extended electrical endurance qualification obtained separately from type tests.

Tableau 1 – Séquence d'essais et critères pour les essais d'endurance électrique accrue effectués en dehors des essais de type

Type d'essais	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit			
	$I_{SC} \leq 40 \text{ kA}$	$I_{SC} = 50 \text{ kA}$	$I_{SC} = 63 \text{ kA}$	$I_{SC} = 80 \text{ kA}$
Essais à vide	Selon 6.102.6 de la CEI 62271-100			
Essais d'usure (voir Note 2)				
Manœuvre de coupure T60	21 O	15 O	10 O	7 O
Manœuvre de coupure T10	9 O			
Essais d'acceptation				
T10	3 CO			
L ₇₅	Selon 6.109.4 de la CEI 62271-100, avec le changement suivant: des manœuvres d'ouverture simple sont effectuées			
LC1	– pour des essais monophasés ou triphasés de disjoncteurs de classe C1: 0 réamorçage pendant 24 CO ou 1 réamorçage pendant 48 CO; – pour des essais monophasés de disjoncteurs de classe C2: 0 réamorçage pendant 48 CO ou 1 réamorçage pendant 96 CO; – pour des essais triphasés de disjoncteurs de classe C2: 0 réamorçage pendant 24 CO ou 1 réamorçage pendant 48 CO.			
Vérification d'état	Suivant 6.2.11 de la CEI 62271-100			
NOTE 1 Le nombre d'essais T60 est défini selon l'hypothèse que 3 interruptions surviennent lors de l'essai L₇₅. Le nombre de coupures effectuées lors de la séquence L₇₅ pouvant être supérieur à 3, par exemple, lorsque les essais sont réalisés en synthétique, il convient d'effectuer les essais LC1 après une combinaison d'essais T60 et L₇₅ telle que le nombre total de coupures soit au moins équivalent à celui qui est indiqué dans le Tableau 1. Des manœuvres de coupure supplémentaires peuvent être pré-supposées et le nombre d'opérations figurant dans les essais d'usure précédents réduit d'autant afin de ne pas augmenter l'usure électrique totale. Dans tous les cas, il convient de démontrer la performance en coupure de L₇₅ pendant la partie d'essais d'acceptation sur un disjoncteur électriquement usé, ce qui signifie que tous les essais supplémentaires pré-supposés seront réalisés lors de la partie d'essais d'acceptation avec les tensions transitoires de rétablissement (TTR). NOTE 2 Voir A.8.4 pour les explications sur le nombre d'essais d'usure pour différents pouvoirs de coupure assignés en court-circuit.				

Table 1 – Test sequence and criteria for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests

Type of test	Rated-short-circuit breaking current			
	$I_{SC} \leq 40 \text{ kA}$	$I_{SC} = 50 \text{ kA}$	$I_{SC} = 63 \text{ kA}$	$I_{SC} = 80 \text{ kA}$
No load test	As per 6.102.6 of IEC 62271-100			
Wear tests (see Note 2)				
T60 breaking operations	21 O	15 O	10 O	7 O
T10 breaking operations	9 O			
Acceptance tests				
T10	As per 6.109.4 of IEC 62271-100, with the following variation: single O operations are performed			
L ₇₅	As per 6.109.4 of IEC 62271-100, with the following variation: single O operations are performed			
LC1	– for single-phase and three-phase tests of circuit-breakers rated class C1: 0 restrikes over 24 CO or 1 restrike over 48 CO; – for single-phase tests of circuit-breakers rated class C2: 0 restrikes over 48 CO or 1 restrike over 96 CO; – for three-phase tests of circuit-breakers rated class C2: 0 restrikes over 24 CO or 1 restrike over 48 CO			
Condition check	According to 6.2.11 of IEC 62271-100			
NOTE 1 The number of T60 tests are defined with the assumption that 3 interruptions are performed at L₇₅. As the number of interruptions performed at L₇₅ may be higher than 3, for example when synthetic tests are performed, LC1 tests should be carried out after a combination of T60 and L₇₅ tests which is at least equivalent to the interruptions at T60 and L₇₅ given in Table 1. Additional operations may be pre-assumed, and the number of operations at the preceding wear tests reduced correspondingly, in order not to increase the total electrical wear. In any case, L₇₅ should be demonstrated during the acceptance stage on an electrically worn circuit-breaker, meaning that all the extra tests during the acceptance stage should be made with the TRVs. NOTE 2 For the rationale of the number of wear tests for different rated short-circuit breaking currents, see A.8.4.				

Les conditions d'essais sont données dans le Tableau 2.

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

Type d'essai	Nombre de pôles essayés	Pressions pour la manœuvre et la coupure	Tension des bobines d'ouverture et de fermeture	Essai de tension	Essai de courant	Durée d'arc
Essais à vide						
Suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100						
Essais d'usure						
T60	Suivant 6.102.3 de la CEI 62271-100	Assignée	Assignée	Selon les essais de type T60 suivant 6.106.3 de la CEI 62271-100 sans TTR		Durée d'arc moyenne des essais de type T60
T10	Suivant 6.102.3 de la CEI 62271-100	Assignée	Assignée	Selon les essais de type T10 suivant 6.106.1 de la CEI 62271-100 sans TTR		Durée d'arc moyenne des essais de type T10
Essais d'acceptation						
T10	Suivant 6.102.3 de la CEI 62271-100	Assignée	Selon la procédure normalisée des essais de type T10 avec la modification suivante: CO avec C à vide			Voir note
L ₇₅	Une	Assignée	Selon la procédure normalisée des essais de type L ₇₅ avec la modification suivante: Ouvertures simples seulement			Voir note
LC1	Une	Assignée	Selon la procédure normalisée des essais de type LC1 avec la modification suivante: Cycle CO avec C à vide 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			Avec séparations des contacts réparties à intervalles de 15 ° (degrés électriques)
NOTE 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. Cependant, il convient de démontrer la plage de coupure complète.						

4.2 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 de laisser autant de liberté que possible dans la sélection des essais de type à pratiquer lors de la partie d'essais d'usure, les spécifications suivantes sont mises en place:

- dans tous les cas, il convient que l'usure accumulée soit équivalente à l'usure produite par
 - pour $I_{sc} \leq 40$ kA: 21 coupures à T60 avec une durée d'arc moyenne;
 - pour $I_{sc} = 50$ kA: 15 coupures à T60 avec une durée d'arc moyenne;
 - pour $I_{sc} = 63$ kA: 10 coupures à T60 avec une durée d'arc moyenne;
 - pour $I_{sc} = 80$ kA: 7 coupures à T60 avec une durée d'arc moyenne;
- il est recommandé d'avoir au moins les séquences d'essais T30 et T60 pour la partie d'essais d'usure de ce programme.

The test conditions are given in Table 2.

Table 2 – Test conditions for extended electrical endurance tests obtained separately from type tests

Type of test	Number of phases tested	Pressures for operation and interruption	Opening and closing coils voltage	Test voltage	Test current	Arcing time
No load test As per 6.102.6 of IEC 62271-100						
Wear tests						
T60	According to 6.102.3 of IEC 62271-100	Rated	Rated	According to T60 type test as per 6.106.3 of IEC 62271-100 without TRV		Average arcing time according to T60 type test
T10	According to 6.102.3 of IEC 62271-100	Rated	Rated	According to T10 type test as per 6.106.1 of IEC 62271-100 without TRV		Average arcing time according to T10 type test
Acceptance tests						
T10	According to 6.102.3 of IEC 62271-100	Rated	According to the standard test procedure for T10 type test with the following variation: CO with C no load			See note
L ₇₅	One	Rated	According to the standard test procedure for L ₇₅ type test except that tests are done by single openings only			See note
LC1	One	Rated	According to the standard test procedure for LC1 type test with the following variations: CO operations with C no load 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			Around the clock every 15° (electrical degrees)
NOTE 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 arc-extinguishing window should be shown.						

4.2 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.

To leave as much freedom as possible in the selection of type tests to be used in the wear stage, the following requirements are set:

- a) accumulated wear should be, in any case, equivalent to the wear produced by:
 - for $I_{SC} \leq 40$ kA: 21 breaking operations at T60 with average arcing time;
 - for $I_{SC} = 50$ kA: 15 breaking operations at T60 with average arcing time;
 - for $I_{SC} = 63$ kA: 10 breaking operations at T60 with average arcing time;
 - for $I_{SC} = 80$ kA: 7 breaking operations at T60 with average arcing time;
- b) in the wear stage of this programme, it is recommended to carry out at least test duties T30 and T60.

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, à condition que l'usure cumulative atteinte soit équivalente.

Destiné uniquement à cette qualification, le Tableau 3 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 3 – Nombre équivalent de coupures

Une coupure simple avec une durée d'arc moyenne et une valeur courante telle que	Nombre équivalent de coupures à T60
T10	0,01
OP2	0,15
T30	0,25
T60	1
L ₇₅	1,5
L ₉₀	2
T100s	2,4
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).	

In order to allow maximum freedom within this combined programme during the wear tests, the number of breaking operations at T60 with average arcing time can be replaced by other test duties, provided the cumulative wear is reached.

Limited to the purpose of this qualification, Table 3 provides the equivalence between breaking operations carried out at average arcing time, with current values as used during type tests, and breaking operations at T60 at average arcing time.

Table 3 – Equivalent number of breaking operations

One single breaking operation at average arcing time and current value as in	Equivalent number of breaking operation at T60
T10	0,01
OP2	0,15
T30	0,25
T60	1
L ₇₅	1,5
L ₉₀	2
T100s	2,4
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).	

Le Tableau 4 donne un exemple de programme de qualification d'endurance électrique accrue combiné à des essais de type.

Tableau 4 – Exemple de programme de qualification d'endurance électrique accrue combiné à des essais de type

Type d'essai	Pouvoir de court-circuit assigné en court-circuit			
	$I_{sc} \leq 40 \text{ kA}$	$I_{sc} = 50 \text{ kA}$	$I_{sc} = 63 \text{ kA}$	$I_{sc} = 80 \text{ kA}$
Essais d'usure (voir Note 3)				
T30	Suivant 6.106.2 de la CEI 62271-100	Suivant 6.106.2 de la CEI 62271-100		
T60	Suivant 6.106.3 de la CEI 62271-100 Plus 17 O	Suivant 6.106.3 de la CEI 62271-100 Plus 11 O	Suivant 6.106.3 de la CEI 62271-100 Plus 6 O	Suivant 6.106.3 de la CEI 62271-100 Plus 3 O
Essais d'acceptation				
T10	9 CO sans TTR Plus T10 suivant 6.106.1 de la CEI 62271-100			
L75	Suivant 6.109 de la CEI 62271-100 avec la variation suivante: manœuvres d'ouverture simple			
LC1	pour les essais en monophasé et en triphasé des disjoncteurs de classe C1: 0 réamorçage sur 24 CO ou 1 réamorçage sur 48 CO; – pour les essais en monophasé des disjoncteurs de classe C2: 0 réamorçage sur 48 CO ou 1 réamorçage sur 96 CO; – pour les essais triphasés des disjoncteurs de classe C2: 0 réamorçage sur 24 CO ou 1 réamorçage sur 48 CO			
NOTE 1 En cas d'échec d'un quelconque essai de type utilisé pour démontrer la partie d'essais d'usure, le programme d'endurance électrique accrue peut être complété et finalisé selon les exigences générales en ce qui concerne la contrainte cumulée conformément aux essais d'acceptation donnés dans ce tableau ou conformément à 4.1. NOTE 2 Le nombre d'essais T60 est défini selon l'hypothèse que 3 interruptions surviennent lors de l'essai L75. Le nombre de coupures effectuées lors de la séquence pouvant être supérieur à 3, par exemple, lorsque les essais sont effectués en synthétique, il convient d'effectuer les essais LC1 après une combinaison d'essais T60 et L75 telle que le nombre total de coupures est au moins équivalent à celui qui est indiqué dans le Tableau 1. Des manœuvres de coupure supplémentaires peuvent être pré-supposées, dans ce cas, il convient que le nombre d'opérations figurant dans les essais d'usure précédents soit réduit d'autant, afin de ne pas augmenter l'usure électrique totale. Dans tous les cas, il convient de démontrer l'essai L75 lors de la partie d'essais d'acceptation sur un disjoncteur électriquement usé, ce qui signifie que tous les essais supplémentaires pré-supposés seront réalisés lors de la partie d'essais d'acceptation avec les tensions transitoires de rétablissement (TTR). NOTE 3 Pour l'analyse du nombre d'essais d'usure relatifs aux différents pouvoirs de coupure en court-circuit, se reporter à A.8.4.				

An example of an extended electrical endurance qualification programme combined with a type test is given in Table 4.

Table 4 – Example of extended electrical endurance qualification programme combined with type tests

Type of test	Rated short-circuit breaking current			
	$I_{sc} \leq 40 \text{ kA}$	$I_{sc} = 50 \text{ kA}$	$I_{sc} = 63 \text{ kA}$	$I_{sc} = 80 \text{ kA}$
Wear tests (see note 3)				
T30	As per 6.106.2 of IEC 62271-100	As per 6.106.2 of IEC 62271-100		
T60	As per 6.106.3 of IEC 62271-100 Plus 17 O	As per 6.106.3 of IEC 62271-100 Plus 11 O	As per 6.106.3 of IEC 62271-100 Plus 6 O	As per 6.106.3 of IEC 62271-100 Plus 3 O
Acceptance tests				
T10	9 CO without TRV Plus T10 as per 6.106.1 of IEC 62271-100			
L ₇₅	As per 6.109 of IEC 62271-100 with the following variation: single O operations are performed			
LC1	– for single-phase and three-phase tests of circuit-breakers rated class C1: no restrikes over 24 CO or one restrike over 48 CO; – for single-phase tests of circuit-breakers rated class C2: no restrikes over 48 CO or one restrike over 96 CO; – for three-phase tests of circuit-breakers rated class C2: no restrikes over 24 CO or one restrike over 48 CO			
NOTE 1 In case of failure of any type test used to represent the wear stage, the extended electrical endurance programme may be completed and finalized according to the general requirements as to the accumulated stress and according to the acceptance tests listed in this table or according to 4.1. NOTE 2 The number of T60 tests are defined with the assumption that 3 interruptions are performed at L₇₅. As the number of interruptions performed at L₇₅ may be higher than 3, for example when synthetic tests are performed, LC1 tests should be carried out after a combination of T60 and L₇₅ tests which is at least equivalent to the interruptions at T60 and L₇₅ given in Table 1. Additional operations may be presumed, and the number of operations listed in the preceding wear tests reduced correspondingly, in order to not increase the total electrical wear. In any case, L₇₅ should be demonstrated during the acceptance stage on an electrically worn circuit-breaker, meaning that all the pre-assumed extra tests during the acceptance stage should be made with TRVs. NOTE 3 For the rationale of the number of wear tests for different rated short-circuit breaking currents, see A.8.4.				

Les conditions d'essais sont données dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Conditions d'essais pour le programme de qualification d'endurance électrique accrue combiné aux essais de type

Type d'essai	Pressions pour la manœuvre et la coupure	Tension des bobines d'ouverture et de fermeture	Essai de tension	Essai de courant	Durée d'arc
Essais à vide	Suivant 6.102.6 de la CEI 62271-100				
Essais d'usure					
Cycles de service pour T10, OP2, T30, T60, L75, L90, T100s	Comme défini dans les articles concernés				
Essais d'usure de coupure pour T60	Assignées	Assignée	Selon 6.106.3 de la CEI 62271-100 sans TTR	Durée d'arc moyenne selon l'essai de type T60	
Essais d'acceptation					
T10	Assignées	Conformément à la procédure d'essai normalisée pour l'essai de type T10 avec les variations suivantes: CO avec C à vide			Voir note
L75	Assignées	Conformément à la procédure d'essai pour l'essai de type L75 mais avec des essais effectués uniquement par ouverture simple			Voir note
LC1	Assignées	Conformément à la procédure d'essai normalisée pour l'essai de type LC1 avec les variations suivantes: – CO avec C à vide – La tension d'essai représente la valeur la plus élevée entre 80 % de la tension d'essai spécifiée pour les essais de type et la valeur correspondant au facteur de tension: 1,12			Avec séparations des contacts réparties à intervalles de 15 ° (degrés électriques)
NOTE Les durées d'arc peuvent être différentes de celles montrées pendant les essais de type en raison des conditions d'usure du disjoncteur. Cependant, il convient de démontrer la fenêtre d'extinction d'arc complète.					

The test conditions are given in Table 5.

Table 5 – Test conditions for extended electrical endurance qualification programme combined with type tests

Type of test	Pressures for operation and interruption	Opening and closing coils voltage	Voltage test	Current test	Arcing time
No load tests	As per 6.102.6 of IEC 62271-100				
Wear tests					
Duty cycles at T10, OP2, T30, T60, L75, L90, T100s	As defined in the relevant clauses				
Breaking wear tests at T60	Rated	Rated	According to 6.106.3 of IEC 62271-100 without TRV	Average arcing time according to T60 type test	
Acceptance tests					
T10	Rated	According to the standard test procedure for T10 type test with the following variation: CO with C no load		See note	
L75	Rated	According to the standard test procedure for L75 type test except that tests are done by single openings only		See note	
LC1	Rated	According to the standard test procedure for LC1 type test with the following variations: – CO operations with C no load; – 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		Around the clock every 15° (electrical degrees)	
NOTE The arcing times may vary from those shown during type tests due to the worn condition of the circuit-breaker. However the full arc-extinguishing window should be shown.					

Annexe A (informative)

Notes explicatives

A.1 Introduction

Les programmes d'essai d'endurance électrique accrue pour des tensions inférieures 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 durée de vie. Il y a aussi une tendance croissante de plusieurs exploitants à installer des équipements ayant des marges plus faibles 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 durée de vie 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 représentatives⁴.

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 statistiques de contraintes d'usure électrique du pays. La liste des pays participants est donnée dans le Tableau A.1⁵.

⁴ Les données ont été recueillies en collaboration avec le groupe de travail 13.08 de la CIGRE et GT-29 du sous-comité 17A de la CEI.

⁵ 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.

Annex A (informative)

Explanatory notes

A.1 Introduction

Extended electrical endurance test programmes for rated voltages up to 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 life span. There is also an increasing trend followed by various utilities to install equipment having less margin 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 life span, 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 are⁴.

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.15.

⁴ Data were collected through a co-operation between CIGRE WG 13.08 and IEC SC 17A/WG 29.

⁵ 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.

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

BELGIQUE	FRANCE
PAYS-BAS	SUISSE
BRESIL	ETATS-UNIS
ITALIE	SUEDE
ESPAGNE	ALLEMAGNE
JAPON	CANADA
INDE	

Plusieurs données par classe de tension ont été étudiées, par exemple :

- nombre de courts-circuits des lignes aériennes pour 100 km/an;
- longueur moyenne des lignes. Lorsque cela était possible, la distribution statistique des longueurs de ligne 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,
- le nombre de défauts pour 100 km/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.

Pour ces exceptions, les valeurs au 90^{ième} par pourcentage de distribution ont été retenues. Les raisons de cette hypothèse sont les suivantes:

- Le nombre de défauts pour 100 km/an
Les données rassemblées sont toutes représentatives d'un pays spécifique. La sélection des valeurs au 90^{ième} par pourcentage de la distribution qui en résulte est conforme aux critères généraux des normes CEI couvrant 90 % des cas.
- 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 normal et 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

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 line length. When available, the statistical distribution of 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 line length,
- the number of faults per 100 km/year,
- the ratio of the short-circuit current available at the busbars to the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker.

For these exceptions, the 90th percentile values of the distribution were used. The reasons behind this assumption are as follows:

- The number of faults per 100 km/year
The collected values are, each representative of a specific country. Selection, in the resulting distribution, of the 90th percentile value, follows the general criterion of the IEC standards to cover 90 % of the cases.
- Ratio of short-circuit current available at the busbar to the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker

It is normal 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. This results in a ratio between the available short-circuit current at the circuit-breaker location and its rated short-circuit breaking current

disjoncteurs à installer. L'échelle du rapport entre le courant de court-circuit présent au niveau du disjoncteur et son pouvoir de coupure assigné en court-circuit peut donc être relativement étendue. A partir des données disponibles, le rapport moyen se situe entre 40 % et 60 %, sa valeur au 90^{ième} par pourcentage se situant entre 70 % et 80 % (avec une marge de 20 % à 30 %). 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
Durée de vie (années)	25	25	25	25	25	25
Longueur de ligne (km), valeur au 90 ^{ième} par pourcentage	39	76	107	125	153	268
% d'exploitation* (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
* 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 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.

having a relatively large spread. From the available data the average ratio ranges from 40 % to 60 %, the 90th percentile ratio ranging from 70 % to 80 % (20 % – 30 % of margin). 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 90th 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 th percentile value)	17,3	8,3	4,8	3,3	4,2	1,7
Life span (years)	25	25	25	25	25	25
90 th percentile line length (km)	39	76	107	125	153	268
% of exploitation* (90 th 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
* 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 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 (10th percentile) and 2,77 (90th percentile), averaged at 1,68. For a 420 kV system (with more than 130 nodes) this ratio ranges between 0,94 (10th percentile) and 3,24 (90th percentile), averaged at 2,01. As a general figure, where values were not available, a X_0/X_1 ratio of 2 was assumed.

Les valeurs moyennes 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 deux suppositions suivantes ont été faites:

- probabilité d'une distribution uniforme des défauts le long de la ligne;
- calcul des caractéristiques des défauts en court-circuit (nombre, valeurs des courants) et leur distribution au cours de la durée de vie considérée en référence aux séries d'essais normalisés à 10 %, 30 %, 60 %, 75 %, 90 % et 100 % du pouvoir de coupure spécifié. Cette supposition a été prise pour des raisons pratiques dans le but de simplifier les programmes d'essais. Un facteur d'équivalence a été appliqué pour convertir, par exemple, les défauts avec courants de 30 % à 60 % en un nombre d'essais (coupures) à réaliser à 60 % du pouvoir de coupure. Le facteur d'équivalence utilisé est décrit en A.8.3.

A.6 Méthode pour les données statistiques de défauts sur toute la durée de vie du disjoncteur

Les probabilités d'occurrence de défauts avec un courant de défaut se situant dans une gamme donnée ($I_{sc} < 10\%$, $30\% < I_{sc} < 60\%$, $60\% < I_{sc} < 75\%$, $75\% < I_{sc} < 90\%$, $I_{sc} > 90\%$) sont calculées en supposant que la distribution des défauts est uniforme le long de la ligne et en utilisant les données recueillies par catégorie de défaut (1-, 2- et 3-phases). Cette probabilité est alors traduite en un nombre de défauts à la valeur de courant correspondante en fonction de la durée de vie escomptée et du nombre de défauts par 100 km de ligne. Il est à noter que l'application de cette méthode tient compte des différences dans les données recueillies sur chacune des classes de tension, et, pour chaque classe, des pouvoirs de coupure en court-circuit les plus utilisés. En d'autres termes le nombre de défauts à un pourcentage donné du pouvoir de coupure assigné en court-circuit des disjoncteurs est déterminé, pour chacune des classes de tensions, en fonction du pouvoir de coupure assigné en court-circuit des disjoncteurs.

A.7 Analyse de sensibilité des paramètres

Bien que la plupart des données utilisées pour le calcul des contraintes d'endurance électrique accrue proviennent de données recueillies par les compagnies d'électricité, l'influence sur les programmes d'essais de certains paramètres a été analysée dans le but de constater dans quelle mesure ces paramètres ont une influence sur le résultat final. Les programmes d'essais proposés tiennent compte aussi des résultats de cette analyse.

A.8 Programmes d'essais d'endurance électrique accrue

Les programmes d'essais d'endurance électrique accrue ont été établis à partir du nombre calculé de coupures de courants de défaut aux différentes valeurs en terme de pourcentage du pouvoir de coupure assigné en court-circuit des disjoncteurs tel que décrit ci-dessous. Lors du calcul de ces contraintes, les caractéristiques assignées (tension, pouvoir de coupure) des disjoncteurs ont été utilisées comme données d'entrée au programme de calcul.

A.8.1 Résumé des calculs

Les calculs du nombre de coupures de courant aux différents pourcentages du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sont résumés dans les Tableaux A.3 à A.8 ci-dessous (les valeurs indiquées n'ont pas été arrondies).

For lines per voltage class, average values 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

Two assumptions were made because of missing data, namely:

- probability of fault evenly distributed along the line;
- calculation of the short-circuit faults (number, value) and their distribution over the expected life span as if due to standard percentages of rated short-circuit current, i.e. 10 %, 30 %, 60 %, 75 %, 90 %, 100 %. This assumption was taken considering the practical implications of the test programme. In this calculation, a wear factor was assumed when establishing equivalence between a certain number of faults with current between 30 % to 60 % and a new number of faults all performed at 60 %. The equivalence factor is described in A.8.3.

A.6 Method for deriving statistic of faults over the circuit-breaker life span

The probability of occurrence of faults having a current value within a given range ($I_{sc} < 10\%$, $30\% < I_{sc} < 60\%$, $60\% < I_{sc} < 75\%$, $75\% < I_{sc} < 90\%$, $I_{sc} > 90\%$) is derived, assuming probability of faults evenly distributed along the line, and using the collected data per each category of fault (1-, 2- and 3-phase). This probability is then translated into a number of short-circuits at that current value over the selected life span, knowing the number of faults per 100 km/year and the line length. The selected method considers the differences in collected data of each voltage class and, within each class, the most commonly used rated short-circuit breaking currents. The number of faults at a given percentage of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker is, within a voltage class, a function of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker as well.

A.7 Sensitivity analysis

Even if the data used for the calculations are for the most part based on actual data coming from the field, the influence on the test programme of some data was investigated in order to appreciate the resulting sensitivity to such parameters. The proposed test programme also accounts for this sensitivity analysis.

A.8 Extended electrical endurance test programmes

The extended electrical endurance test programme has been derived from the calculated number of breaking operations at the various standard percentage values of the rated short-circuit current of the circuit-breaker as described above. In performing these calculations, the voltage and current ratings of the circuit-breaker have been used as part of the entry data of the calculation programme.

A.8.1 Summary of calculations

The calculations for the number of breaking operations at the various percentage values of the rated short-circuit breaking current are summarized in the Tables A.3 to A.8 below (values have not been rounded).

Tableau A.3 – Nombre de coupures à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	44	68	80	88	89	82	75
170	35	60	80	86	85	77	70
245	22	38	58	64	66	62	56
420	0	4	21	35	50	51	50
550	0	0	0	14	38	62	80
800	0	2	24	42	58	59	55

Tableau A.4 – Nombre de coupures à 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	55	46	36	29	23	18	14
170	52	43	34	27	21	17	13
245	42	36	29	23	18	14	11
420	41	38	32	26	21	17	13
550	65	62	59	51	42	34	26
800	45	42	34	27	22	17	14

Tableau A.5 – Nombre de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	14	11	9	7	5	4	3
170	16	13	10	8	6	5	4
245	14	12	9	7	6	5	4
420	17	14	11	8	7	5	4
550	34	27	21	17	13	11	8
800	17	14	11	9	7	5	4

Tableau A.6 – Nombre de coupures à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
170	1,02	0,82	0,65	0,51	0,41	0,32	0,26
245	1,39	1,11	0,88	0,7	0,56	0,44	0,35
420	1,85	1,48	1,18	0,93	0,74	0,59	0,46
550	0,57	0,45	0,36	0,28	0,23	0,18	0,14
800	1,89	1,51	1,2	0,94	0,76	0,6	0,47

Table A.3 – Number of breaking operations at 10 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	44	68	80	88	89	82	75
170	35	60	80	86	85	77	70
245	22	38	58	64	66	62	56
420	0	4	21	35	50	51	50
550	0	0	0	14	38	62	80
800	0	2	24	42	58	59	55

Table A.4 – Number of breaking operations at 30 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	55	46	36	29	23	18	14
170	52	43	34	27	21	17	13
245	42	36	29	23	18	14	11
420	41	38	32	26	21	17	13
550	65	62	59	51	42	34	26
800	45	42	34	27	22	17	14

Table A.5 – Number of breaking operations at 60 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	14	11	9	7	5	4	3
170	16	13	10	8	6	5	4
245	14	12	9	7	6	5	4
420	17	14	11	8	7	5	4
550	34	27	21	17	13	11	8
800	17	14	11	9	7	5	4

Table A.6 – Number of breaking operations at 75 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
170	1,02	0,82	0,65	0,51	0,41	0,32	0,26
245	1,39	1,11	0,88	0,7	0,56	0,44	0,35
420	1,85	1,48	1,18	0,93	0,74	0,59	0,46
550	0,57	0,45	0,36	0,28	0,23	0,18	0,14
800	1,89	1,51	1,2	0,94	0,76	0,6	0,47

Tableau A.7 – Nombre de coupures à 90 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0
245	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
420	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
550	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0

Tableau A.8 – Nombre de coupure à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0
245	0	0	0	0	0	0	0
420	0	0	0	0	0	0	0
550	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0

En consultant le Tableau A.8, on constate qu'il n'y a aucune coupure à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit. 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. Pour les mêmes raisons, le nombre de coupures à 90 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est lui aussi négligeable. En fonction de la classe de tension, le nombre de coupures à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit se situe entre 0,04 et 1,89.

A.8.2 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».

Table A.7 – Number of breaking operations at 90 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0
245	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
420	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
550	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0

Table A.8 – Number of breaking operations at 100 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA						
	20	25	31,5	40	50	63	80
72,5	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0
245	0	0	0	0	0	0	0
420	0	0	0	0	0	0	0
550	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0

As seen in Table A.8, no openings occur at 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. Because of the same installed margin, a negligible number of breaking operations is calculated for 90 % of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker. For 75 % of the rated short-circuit breaking current, the number of breaking operations is within a 0,04 to 1,89 range.

A.8.2 The 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.

Considérant les avantages et désavantages des deux approches ci-dessus, il est recommandé de prendre la solution qui est basée sur l'utilisation des valeurs moyennes des contraintes pour définir les programmes d'essais. Le plus grand nombre moyen de coupures de courants de défaut en fonction des classes de tension normalisées est donné aux Tableaux A.9 et A.10:

Tableau A.9 – Nombre total de coupures à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	60	74
300 – 800	12	56

Tableau A.10 – Nombre total de coupures à 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	38	17
300 – 800	44	23

Pour ce qui concerne les coupures de courants à 90 % et 100 % du pouvoir de coupure en court-circuit, elles n'ont pas été considérées dans les tableaux puisque leur nombre est négligeable. Pour les coupures de courants à 60 % et 75 % du pouvoir de coupure assigné, l'approche suivante a été préconisée:

- Les essais d'acceptation comprendront une série d'essais L_{75} (voir aussi les essais d'acceptation pour les explications). La séquence d'essais L_{75} a été choisie car elle fait partie des séquences d'essais normalisées de la CEI contrairement à la séquence L_{60} qui est considérée comme une séquence d'essais optionnelle dans la CEI 62271-100. Elle est réalisée seulement dans le cas où la durée d'arc minimale durant l'essai L_{75} est plus grande que celle trouvée lors de la séquence L_{90} .
- Comme la séquence d'essais L_{75} contient trois coupures de courants à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit, le Tableau A.11 relatif aux nombres de coupures à 75 % du pouvoir de coupure en court-circuit est comme suit:

Tableau A.11 – Nombre total de coupures à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	3	3
300 – 800	3	3

Ces coupures de courants seront utilisées pour démontrer les performances du disjoncteur en L_{75} lors des essais d'acceptation.

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 an averaged number of breaking operations, as given in Tables A.9 and A.10:

Table A.9 – Total number of breaking operations at 10 % of the rated short-circuit breaking currents

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	60	74
300 – 800	12	56

Table A.10 – Total number of breaking operations at 30 % of the rated short-circuit breaking currents

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	38	17
300 – 800	44	23

For the remaining openings at various percentage values of the rated short-circuit breaking current, the 90 % and 100 % values were dropped because of the negligible number of faults. For the 60 % and 75 % tables, the following approach was assumed:

- Acceptance tests will include an L_{75} duty (see also acceptance tests for the rationale). L_{75} has been selected because it is a standard IEC test as opposed to L_{60} which in IEC 62271-100, is an optional test only when the minimum arcing time during L_{75} is longer than that of L_{90} .
- As the L_{75} test series contains three openings at 75 % of the rated short-circuit breaking current, Table A.11 relates the number of breaking operations at 75 % as follows:

Table A.11 – Total number of breaking operations at 75 % of the rated short-circuit breaking current

Rated voltage kV	Rated short-circuit breaking current kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	3	3
300 – 800	3	3

These openings will be used for the performance of a L_{75} duty as an acceptance test.

- Pour ce qui est des coupures de courants à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit, leur nombre a été réduit. Avec l'introduction de trois ouvertures à 75 %, l'ensemble des contraintes en terme de courants interrompus demeure constant. Avec cette approche qui consiste à maintenir constant le total des contraintes d'usure électrique, le nombre de coupures de courants à 60 % est comme suit:

Tableau A.12 – Nombre total de coupures à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Tension assignée kV	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit kA	
	20 – 40	50 – 80
72,5 – 245	7	–
300 – 800	14	3

A.8.3 Programme d'essais simplifié

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 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 [2].

La loi d'équivalence peut se résumer ainsi:

$$\text{pour } 0 < I < 35 \% I_{sc} \quad N_I = N_{35} (I_{35}/I)^3$$

$$\text{pour } 35 \% < I < 100 \% I_{sc} \quad N_I = N_{35} (I_{35}/I)^{1,7}$$

où

N_I est le nombre de coupures au courant I ;

N_{35} est le nombre de coupures à 35 % de I_{sc} ;

$I_{35} = 35 \% \text{ de } I_{sc}$.

Il a également été établi que le programme d'essais comprend une première partie d'essais d'usure simplifiée, suivie d'une partie d'essais d'acceptation.

Dans le but d'économiser le temps d'essais durant la partie d'essais d'usure simplifiée, un nombre équivalent de coupures de courants à 60 % du pouvoir de coupure est choisi. Cela est justifié d'une part par le fait que, selon les statistiques de défauts, les coupures à des courants plus élevés ont une très faible probabilité de se produire. D'autre part, la réalisation d'essais de coupure à des courants d'essais plus faibles ne permettrait pas une réduction significative du nombre d'essais durant la période d'essais d'usure.

Le nombre équivalent de coupures à T60 du pouvoir de coupure assigné est obtenu en appliquant la loi d'équivalence décrite ci-dessus aux nombres totaux indiqués pour les quatre classes décrites dans les Tableaux A.9 à A.12, et en soustrayant les opérations de coupure réalisées durant la partie d'acceptation. Un nombre moyen de coupures est alors calculé entre les différentes classes de tension qui partagent le même pouvoir de coupure assigné en court-circuit. Le Tableau A.13 résume le nombre équivalent de coupures requis à T60 représentant la période d'essais d'usure.