

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

61000-2-8

Première édition
First edition
2002-11

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 2-8:

**Environnement – Creux de tension et coupures
brèves sur les réseaux d'électricité publics
incluant des résultats de mesures statistiques**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 2-8:

**Environment – Voltage dips and short
interruptions on public electric power supply
systems with statistical measurement results**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61000-2-8:2002

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**

61000-2-8

Première édition
First edition
2002-11

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 2-8:

**Environnement – Creux de tension et coupures
brèves sur les réseaux d'électricité publics
incluant des résultats de mesures statistiques**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 2-8:

**Environment – Voltage dips and short
interruptions on public electric power supply
systems with statistical measurement results**

© IEC 2002 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 photo-copie 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

X

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application.....	12
2 Définitions	12
3 Description des creux de tension et des coupures brèves	14
3.1 Source des creux de tension.....	14
3.2 Durée du creux de tension.....	16
3.3 Amplitude du creux de tension.....	18
3.4 Coupures brèves	22
3.5 Causes des creux de tension et des coupures brèves.....	22
3.6 Exemple de défaut dans un réseau MT.....	24
4 Effets des creux de tension et des coupures brèves.....	28
4.1 Effets généraux	28
4.2 Effets sur des dispositifs particuliers.....	30
5 Mesures réparatrices	34
5.1 Considérations générales	34
5.2 Quelques exemples des mesures réparatrices.....	36
6 Mesure des creux de tension et des coupures brèves	38
6.1 Conventions adoptées dans la mesure des creux de tension et des coupures brèves.....	38
6.2 Mesure des creux de tension	44
6.3 Mesure des coupures brèves	46
6.4 Classification des résultats de mesure	46
6.5 Regroupement des résultats de mesure.....	48
7 Résultats de mesure disponibles	50
7.1 Statistiques d'UNIPED	50
7.2 Statistiques d'enquête de l'EPRI	56
7.3 Quelques statistiques de différents pays.....	60
8 Discussion des résultats et conclusions générales.....	78
8.1 Comparaison des résultats	78
8.2 Conclusions des résultats	78
8.3 Conclusions générales.....	80
8.4 Recommandations	84
Bibliographie	88
Figure 1 – Circuit équivalent pour un creux de tension	18
Figure 2 – Creux de tension et coupures brèves résultant d'un défaut en réseau MT.....	26
Figure 3 – Courbe ITIC (CBEMA) pour un équipement raccordé à un réseau 120 V 60 Hz	30
Figure 4 – Histogramme des fréquences de creux et de coupures	56
Figure 5 – Nombre annuel de creux et coupures sous 4 seuils de tension	58

CONTENTS

FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
1 Scope	13
2 Definitions	13
3 Description of voltage dips and short interruptions	15
3.1 Source of voltage dips	15
3.2 Voltage dip duration	17
3.3 Voltage dip magnitude	19
3.4 Short interruptions	23
3.5 Causes of voltage dips and short interruptions	23
3.6 Example of fault on MV network	25
4 Effects of voltage dips and short interruptions	29
4.1 General effects	29
4.2 Effects on some particular devices	31
5 Remedial measures	35
5.1 General considerations	35
5.2 Some examples of remedial measures	37
6 Measurement of voltage dips and short interruptions	39
6.1 Conventions adopted in the measurement of voltage dips and short interruptions	39
6.2 Measurement of voltage dips	45
6.3 Measurement of short interruptions	47
6.4 Classification of measurement results	47
6.5 Aggregation of measurement results	49
7 Available measurement results	51
7.1 UNIPED statistics	51
7.2 Statistics from EPRI survey	57
7.3 Some statistics from individual countries	61
8 Discussion of results and general conclusions	79
8.1 Comparison of results	79
8.2 Conclusions from the results	79
8.3 General conclusions	81
8.4 Recommendations	85
Bibliography	89
Figure 1 – Equivalent circuit for voltage dips	19
Figure 2 – Voltage dips and short interruptions resulting from fault on MV network	27
Figure 3 – ITIC (CBEMA) curve for equipment connected to 120 V 60 Hz systems	31
Figure 4 – Histogram of sag and interruption rates	57
Figure 5 – Annual number of sags and interruptions below 4 voltage thresholds	59

Tableau 1 – Tensions secondaires d'un transformateur avec un défaut d'une phase à la terre au primaire	20
Tableau 2 – Classification des résultats de mesure	48
Tableau 3 – Réseaux souterrains: fréquence des creux de tension – maximum.....	52
Tableau 4 – Réseaux souterrains: fréquence des creux de tension – moyenne	52
Tableau 5 – Réseaux souterrains: fréquence des creux de tension – 95 ^e percentile	52
Tableau 6 – Réseaux mixtes: fréquence des creux de tension – maximum.....	54
Tableau 7 – Réseaux mixtes: fréquence des creux de tension – moyenne.....	54
Tableau 8 – Réseaux mixtes: fréquence des creux de tension – 95 ^e percentile	54
Tableau 9 – Creux de tension et coupures brèves en réseau HT	60
Tableau 10 – Creux de tension et coupures brèves en réseau MT.....	60
Tableau 11 – Réseaux MT aériens: fréquence des creux de tension – maximum.....	62
Tableau 12 – Réseaux MT aériens: fréquence des creux de tension – 95 ^e percentile	64
Tableau 13 – Réseaux MT aériens: fréquence des creux de tension – moyenne	64
Tableau 14 – Réseaux MT souterrains: fréquence des creux de tension – maximum.....	64
Tableau 15 – Réseaux MT souterrains: fréquence des creux de tension – moyenne	66
Tableau 16 – Réseaux HT (400 kV): fréquence des creux de tension – maximum	66
Tableau 17 – Réseaux HT (400 kV): fréquence des creux de tension – moyenne	66
Tableau 18 – Coefficient de pondération de la gravité des creux de tension.....	68
Tableau 19 – Réseaux souterrains: 2 sites de mesures, 1996-1998 – nombre maximal de creux/an.....	70
Tableau 20 – Réseaux souterrains: 2 sites de mesures, 1996-1998 – nombre moyen de creux/an.....	70
Tableau 21 – Réseaux mixtes: 3 sites de mesures, 1996-1998 – nombre maximal de creux/an.....	70
Tableau 22 – Réseaux mixtes: 3 sites de mesures, 1996-1998 – nombre moyen de creux/an.....	72
Tableau 23 – Réseaux mixtes: 3 sites de mesures, 1999 – nombre maximal de creux.....	72
Tableau 24 – Réseaux mixtes: 3 sites de mesures, 1999 – nombre moyen de creux	74
Tableau 25 – Réseaux aériens: 3 sites de mesures, 1999 – nombre maximal de creux	74
Tableau 26 – Réseaux aériens: 3 sites de mesures, 1999 – nombre moyen de creux.....	74
Tableau 27 – Probabilité moyenne p de creux de tension et coupures brèves par client	76
Tableau 28 – Présentation recommandée des résultats.....	86

Table 1 – Transformer secondary voltages with a single line-to-ground fault on the primary.....	21
Table 2 – Classification of measurement results	49
Table 3 – Underground networks: voltage dip incidence – maximum	53
Table 4 – Underground networks: voltage dip incidence – mean.....	53
Table 5 – Underground networks: voltage dip incidence – 95 th percentile	53
Table 6 – Mixed networks: voltage dip incidence – maximum	55
Table 7 – Mixed networks: voltage dip incidence – mean	55
Table 8 – Mixed networks: voltage dip incidence – 95 th percentile	55
Table 9 – Voltage dips and short interruptions on the HV system	61
Table 10 – Voltage dips and short interruptions on the MV system	61
Table 11 – MV overhead networks: voltage dip incidence – maximum	63
Table 12 – MV overhead networks: voltage dip incidence – 95 th percentile	65
Table 13 – MV overhead networks: voltage dip incidence – mean	65
Table 14 – MV underground networks: voltage dip incidence – maximum	65
Table 15 – MV underground networks: voltage dip incidence – mean	67
Table 16 – HV (400 kV) networks: voltage dip incidence – maximum.....	67
Table 17 – HV (400 kV) networks: voltage dip incidence – mean	67
Table 18 – Voltage dip severity weighting coefficients	69
Table 19 – Underground networks: 2 measurement sites, 1996-1998 – maximum number of dips/year	71
Table 20 – Underground networks: 2 measurement sites, 1996-1998 – mean number of dips/year	71
Table 21 – Mixed networks: 3 measurement sites, 1996-1998 – maximum number of dips/year	71
Table 22 – Mixed networks: 3 measurement sites, 1996-1998 – mean number of dips/year	73
Table 23 – Mixed networks: 3 measurement sites, 1999 – maximum number of dips	73
Table 24 – Mixed networks: 3 measurement sites, 1999 – mean number of dips	75
Table 25 – Overhead networks: 3 measurement sites, 1999 – maximum number of dips	75
Table 26 – Overhead networks: 3 measurement sites, 1999 – mean number of dips.....	75
Table 27 – Average probability p of voltage dips and short interruptions per customer	77
Table 28 – Recommended presentation of results.....	87

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 2-8: Environnement –

Creux de tension et coupures brèves sur les réseaux d'électricité publics incluant des résultats de mesures statistiques

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique 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 61000-2-8, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 77A: Phénomènes basses fréquences du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Elle a le statut de publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de la CEI.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
77A/375/DTR	77A/396/RVC

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 2-8: Environment –
Voltage dips and short interruptions on public electric power
supply systems with statistical measurement results**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The 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 61000-2-8, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 77A: Low frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

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

Enquiry draft	Report on voting
77A/375/DTR	77A/396/RVC

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2010.
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 61000-2-8:2002

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2010. 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 61000-2-8:2002

INTRODUCTION

La CEI 61000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas de la responsabilité des comités de produits)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation

Guides d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme Normes internationales, soit comme spécifications techniques ou rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées en tant que sections. D'autres seront publiées sous le numéro de la partie, suivi d'un tiret et complété d'un second chiffre identifiant la subdivision (exemple: 61000-6-1).

Des informations détaillées sur les différents types de perturbations que l'on peut s'attendre à trouver sur les réseaux publics d'alimentation électrique figurent dans la CEI 61000-2-1.

INTRODUCTION

IEC 61000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

- General considerations (introduction, fundamental principles)
- Definitions, terminology

Part 2: Environment

- Description of the environment
- Classification of the environment
- Compatibility levels

Part 3: Limits

- Emission limits
- Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

- Measurement techniques
- Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

- Installation guidelines
- Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts, published either as International Standards, technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and completed by a second number identifying the subdivision (example: 61000-6-1).

Detailed information on the various types of disturbances that can be expected on public power supply systems can be found in IEC 61000-2-1.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 2-8: Environnement –

Creux de tension et coupures brèves sur les réseaux d'électricité publics incluant des résultats de mesures statistiques

1 Domaine d'application

Ce rapport technique décrit les phénomènes électromagnétiques de perturbation des creux de tension et des coupures brèves en termes de leurs origines, effets, mesures correctrices, méthodes de mesures, et de résultats de mesures (pour autant qu'ils soient disponibles). Ils sont discutés essentiellement comme des phénomènes observés sur les réseaux d'électricité publics et ayant un effet sur l'appareillage électrique alimenté en énergie par ces réseaux.

Le creux de tension exprime la notion des termes anglais «voltage sag» et «voltage dip».

2 Définitions

2.1

creux de tension

réduction soudaine de la tension à un point particulier d'un circuit d'alimentation électrique en dessous d'un seuil de creux de tension spécifié suivi de son rétablissement après un bref intervalle

NOTE 1 Un creux de tension est généralement associé à l'apparition et à la fin d'un court-circuit ou toute autre augmentation extrême de courant dans le réseau ou aux installations raccordées à celui-ci.

NOTE 2 Un creux de tension est une perturbation électromagnétique bidimensionnelle, dont le niveau est déterminé par la tension et le temps (durée).

2.2

coupure brève

réduction soudaine de la tension sur toutes les phases à un point particulier d'un circuit d'alimentation électrique en dessous d'un seuil de coupure spécifié, suivi par sa restauration après un bref intervalle

NOTE Les coupures brèves sont généralement associées aux manœuvres des interrupteurs liées à l'apparition et à la fin des courts-circuits dans le réseau ou dans les installations raccordées à celui-ci.

2.3

tension de référence (creux de tension)

<mesure des creux de tension et des coupures brèves>

valeur spécifiée comme base sur laquelle la profondeur, les seuils et d'autres valeurs sont exprimés sur une base unitaire ou en termes de pourcentage

NOTE La tension nominale ou déclarée du réseau d'alimentation est fréquemment choisie comme tension de référence.

2.4

seuil de début du creux de tension

<mesure du creux de tension>

valeur efficace de la tension dans un réseau d'alimentation électrique spécifiée afin de définir le début d'un creux de tension

NOTE Des valeurs entre 0,85 et 0,95 de la tension de référence ont été généralement employées pour ce seuil.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 2-8: Environment –

Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results

1 Scope

This technical report describes the electromagnetic disturbance phenomena of voltage dips and short interruptions in terms of their sources, effects, remedial measures, methods of measurement, and measurement results (in so far as these are available). They are discussed primarily as phenomena observed on the networks of public electricity supply systems and having an effect on electrical equipment receiving its energy supply from those systems.

“Voltage sag” is an alternative name for the phenomenon voltage dip.

2 Definitions

2.1

voltage dip

voltage sag

sudden reduction of the voltage at a particular point on an electricity supply system below a specified dip threshold followed by its recovery after a brief interval

NOTE 1 Typically a dip is associated with the occurrence and termination of a short circuit or other extreme current increase on the system or installations connected to it.

NOTE 2 A voltage dip is a two-dimensional electromagnetic disturbance, the level of which is determined by both voltage and time (duration).

2.2

short interruption

sudden reduction of the voltage on all phases at a particular point on an electricity supply system below a specified interruption threshold followed by its restoration after a brief interval

NOTE Short interruptions are typically associated with switchgear operation related to the occurrence and termination of short circuits on the system or installations connected to it.

2.3

(voltage dip) reference voltage

<measurement of voltage dips and short interruptions>

value specified as the base on which depth, thresholds and other values are expressed in per unit or percentage terms

NOTE The nominal or declared voltage of the supply system is frequently selected as the reference voltage.

2.4

voltage dip start threshold

<voltage dip measurement>

r.m.s. value of the voltage on an electricity supply system specified for the purpose of defining the start of a voltage dip

NOTE Typically values between 0,85 and 0,95 of the reference voltage have been used for this threshold.

2.5

seuil de fin du creux de tension

<mesure du creux de tension>

valeur efficace de la tension dans un réseau d'alimentation électrique spécifiée afin de définir la fin d'un creux de tension

NOTE La valeur utilisée pour le seuil de fin est généralement identique au seuil de départ ou la dépasse de 0,01 de la tension de référence.

2.6

seuil de coupure

<mesure des creux de tension et des coupures brèves>

valeur efficace de la tension dans un réseau d'alimentation électrique spécifiée comme frontière telle qu'un creux de tension dans lequel la tension de toutes les phases chute en dessous de celui ci, est classifié comme une coupure brève

2.7

tension résiduelle (d'un creux de tension)

valeur minimale de la tension efficace enregistrée pendant un creux de tension ou une coupure brève

NOTE La tension résiduelle peut être exprimée comme une valeur en volts ou comme un pourcentage ou par une valeur unitaire relative à la tension de référence.

2.8

profondeur (d'un creux de tension)

différence entre la tension de référence et la tension résiduelle

NOTE 1 La profondeur peut être exprimée comme une valeur en volts ou comme un pourcentage ou par une valeur unitaire relative à la tension de référence.

NOTE 2 Le mot «profondeur» est fréquemment utilisé dans un sens descriptif et non quantitatif, se référant à l'amplitude de tension d'un creux de tension, sans intention d'indiquer si cette amplitude est exprimée comme *la tension résiduelle* ou *la profondeur*, comme défini ci-dessus. Il convient de veiller à s'assurer que cette signification est claire dans le contexte dans lequel elle est employée.

2.9

durée (du creux de tension)

le temps entre l'instant où la tension à un point particulier dans un réseau d'alimentation électrique descend en dessous du seuil de début et l'instant où il atteint le seuil de la fin

NOTE Dans les événements polyphasés, la pratique varie en ce qui concerne le lien entre le début et la fin du creux de tension sur les phases concernées. A l'avenir la pratique consistera probablement à ce que, pour des événements polyphasés, un creux commence lorsque la tension d'au moins une phase descend en dessous du seuil de début de creux, et finit lorsque la tension de toutes les phases est supérieure ou égale au seuil de fin de creux.

2.10

(creux de tension) tension de référence glissante

<mesure des creux de tension et des coupures brèves>

valeur efficace de la tension à un point particulier dans un réseau d'alimentation électrique calculée continuellement sur un intervalle spécifié pour représenter la valeur de la tension précédant immédiatement un creux de tension afin d'être utilisée comme tension de référence

NOTE L'intervalle spécifié est beaucoup plus long que la durée du creux de tension.

3 Description des creux de tension et des coupures brèves

3.1 Source des creux de tension

La source principale des creux de tension observés sur le réseau public est le court-circuit électrique se produisant à un point quelconque dans le réseau d'alimentation électrique.

2.5

voltage dip end threshold

<voltage dip measurement>

r.m.s. value of the voltage on an electricity supply system specified for the purpose of defining the end of a voltage dip

NOTE Typically, the value used for the end threshold has been the same as the start threshold or has exceeded it by 0,01 of the reference voltage.

2.6

interruption threshold

<measurement of voltage dips and short interruptions>

r.m.s. value of the voltage on an electricity supply system specified as a boundary such that a voltage dip in which the voltage on all phases falls below it is classified as a short interruption

2.7

residual voltage (of voltage dip)

minimum value of r.m.s. voltage recorded during a voltage dip or short interruption

NOTE The residual voltage may be expressed as a value in volts or as a percentage or per unit value relative to the reference voltage.

2.8

depth (of voltage dip)

difference between the reference voltage and the residual voltage

NOTE 1 The depth may be expressed as a value in volts or as a percentage or per unit value relative to the reference voltage.

NOTE 2 Frequently the word 'depth' is used in a descriptive, non-quantitative sense, to refer to the voltage dimension of a voltage dip, without the intention of specifying whether that dimension is expressed as the *residual voltage* or *depth*, as defined above. Care is needed to ensure that this meaning is clear in the context in which it is used.

2.9

duration (of voltage dip)

time between the instant at which the voltage at a particular point on an electricity supply system falls below the start threshold and the instant at which it rises to the end threshold.

NOTE In polyphase events, practice varies in regard to relating the start and end of the dip to the phases concerned. Future practice is likely to be that for polyphase events a dip begins when the voltage of at least one phase falls below the dip start threshold and ends when the voltage on all phases is equal to or above the dip end threshold.

2.10

(voltage dip) sliding reference voltage

<measurement of voltage dips and short interruptions>

r.m.s. value of the voltage at a particular point on an electricity supply system continuously calculated over a specified interval to represent the value of the voltage immediately preceding a voltage dip for use as the reference voltage

NOTE The specified interval is much longer than the duration of a voltage dip.

3 Description of voltage dips and short interruptions

3.1 Source of voltage dips

The primary source of voltage dips observed on the public network is the electrical short circuit occurring at any point on the electricity supply system.

Le court-circuit provoque une augmentation très grande du courant, et celle-ci, à son tour, provoque de grandes chutes de tension dans les impédances du réseau d'alimentation électrique. L'apparition des défauts de court-circuit est inévitable dans les réseaux électriques. Ils ont beaucoup de causes, mais fondamentalement ils impliquent une panne dans le diélectrique entre deux structures qui sont prévues pour être isolées l'une de l'autre et qui normalement sont maintenues à différents potentiels.

Beaucoup de courts-circuits sont provoqués par des surtensions, qui sollicitent l'isolation au-delà de son aptitude. La foudre atmosphérique est une cause notable de telles surtensions. Alternativement, l'isolation peut être affaiblie, endommagée ou détruite suite à d'autres effets climatiques (vent, neige, glace, brouillard salin, etc.), par l'impact ou le contact des animaux, des véhicules, des excavateurs, etc., et suite à la détérioration due au vieillissement.

Le réseau électrique typique transporte de l'énergie de multiples sources (centrales électriques) aux multiples charges (moteurs; éléments résistifs pour l'éclairage, le chauffage, etc.; les modules d'alimentation d'énergie des dispositifs électroniques; etc.). La totalité du réseau, incluant générateurs, charges et ce qui les relie, est un système unique, intégré et dynamique – n'importe quel changement de tension, de courant, d'impédance, etc. à un point provoque instantanément un changement à chaque autre point dans le système.

La plupart des réseaux sont des systèmes triphasés. Le court-circuit peut se produire entre les phases, phase et neutre ou phase et terre. Une, deux ou trois phases peuvent être impliquées.

A l'endroit du court-circuit, la tension s'effondre effectivement à zéro. Simultanément, à presque chaque autre point du réseau la tension est réduite de même ou, plus généralement, à un degré moindre.

Les circuits d'alimentation sont équipés de dispositifs de protections pour déconnecter le court-circuit de la source d'énergie. Dès que cette déconnexion a lieu, il y a un rétablissement immédiat de la tension, approximativement à sa valeur précédente, à chaque point sauf ceux déconnectés. Certains défauts sont auto-extincteurs: le court-circuit disparaît et la tension se rétablit avant que la déconnexion n'ait lieu.

La réduction soudaine de tension, suivie du rétablissement de tension, comme décrit précédemment, est le phénomène connu sous le nom de creux de tension.

L'enclenchement de grandes charges, la magnétisation des transformateurs, le démarrage des grands moteurs et les fluctuations de grande amplitude qui sont caractéristiques de certaines charges peuvent toutes produire de grandes variations de courant à effet similaire à un courant de court-circuit. Bien que l'effet soit généralement moins sévère à l'endroit d'apparition, les changements résultant de la tension observée à certains endroits peuvent être indiscernables de ceux occasionnés par un court-circuit. Dans ce cas, ils sont aussi considérés comme un creux de tension. (Cependant dans la gestion des réseaux publics, les conditions de fourniture imposent des limites permises à ces fluctuations de tension.)

3.2 Durée du creux de tension

À moins qu'un défaut auto-extincteur ne soit impliqué, la durée des creux de tension est régie par la vitesse du fonctionnement des dispositifs protecteurs.

Dans le réseau, les dispositifs de protections sont soit des fusibles soit des disjoncteurs commandés par des relais de diverses sortes. Des relais de protection sont souvent conçus pour avoir une caractéristique de temps inverse, de sorte que, plus le courant de court-circuit est bas, plus le temps de suppression du défaut est long. Les fusibles ont des caractéristiques semblables. Les caractéristiques de temps et les réglages des fusibles et des relais sont soigneusement ordonnés et coordonnés, de sorte qu'un court-circuit détecté par plusieurs dispositifs soit supprimé à l'endroit le plus approprié.

The short circuit causes a very large increase in current, and this, in turn, gives rise to large voltage drops in the impedances of the supply system. Short circuit faults are an unavoidable occurrence on electricity systems. They have many causes, but basically they involve a breakdown in the dielectric between two structures which are intended to be insulated from each other and which normally are maintained at different potentials.

Many short circuits are caused by overvoltages, which stress the insulation beyond its capacity. Atmospheric lightning is a notable cause of such overvoltages. Alternatively, the insulation can be weakened, damaged or bridged as a result of other weather effects (wind, snow, ice, salt spray, etc.), by the impact or contact of animals, vehicles, excavating equipment, etc., and as a result of deterioration with age.

The typical electricity supply system conveys energy from multiple sources (generating stations) to multiple loads (motors; resistive elements for lighting, heating, etc.; the power supply modules of electronic devices; etc.) The entire system, including generators, loads and everything between, is a single, integrated and dynamic system – any change of voltage, current, impedance, etc. at one point instantaneously brings about a change at every other point on the system.

Most supply systems are three-phase systems. The short circuit can occur between phases, phase and neutral, or phase and earth. Any number of phases can be involved.

At the point of the short circuit, the voltage effectively collapses to zero. Simultaneously, at almost every other point on the system the voltage is reduced to the same or, more generally, a lesser extent.

Supply systems are equipped with protective devices to disconnect the short circuit from the source of energy. As soon as that disconnection takes place, there is an immediate recovery of the voltage, approximately to its previous value, at every point except those disconnected. Some faults are self-clearing: the short circuit disappears and the voltage recovers before disconnection can take place.

The sudden reduction of voltage, followed by voltage recovery, as just described, is the phenomenon known as voltage dip (also known as voltage sag).

The switching of large loads, energising of transformers, starting of large motors and the fluctuations of great magnitude that are characteristic of some loads can all produce large changes in current similar in effect to a short circuit current. Although the effect is generally less severe at the point of occurrence, the resulting changes in voltage observed at certain locations can be indistinguishable from those arising from short circuits. In that case they also are categorised as voltage dips. (In the management of public networks, however, limits are applied, as a condition of supply, to the permissible voltage fluctuations from this cause.)

3.2 Voltage dip duration

Unless a self-clearing fault is involved, the duration of voltage dips is governed by the speed of operation of the protective devices.

In the main, the protective devices are either fuses or circuit breakers controlled by relays of various kinds. Protection relays often are designed to have an inverse time characteristic, so that the lower the short circuit current, the longer is the fault clearance time. Fuses have similar characteristics. The time characteristics and settings of the fuses and relays are carefully graduated and co-ordinated, so that a short circuit detected by several devices is cleared at the most appropriate point.

Beaucoup de courts-circuits sont supprimés dans la gamme de temps 100 ms – 500 ms. Des temps plus rapides sont souvent atteints pour des courts-circuits sur les lignes principales de transport, alors que la suppression des courts-circuits dans des réseaux de distribution peut être considérablement plus lente.

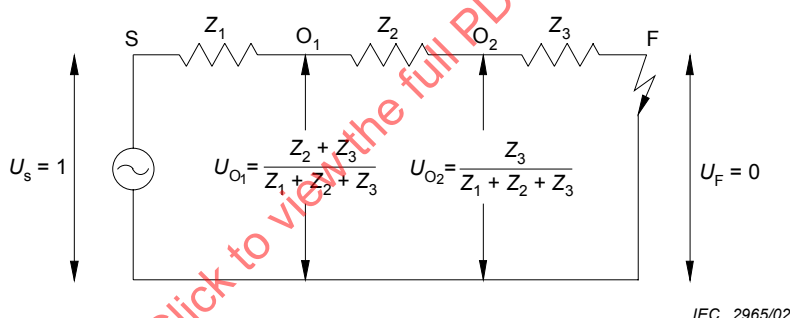
Quand une fluctuation de courant autre qu'un court-circuit est la source du creux de tension, la durée est régie par l'événement qui en est la cause.

Certaines charges génèrent un grand appel de courant lorsque la tension se rétablit à la fin du creux de tension. Cela a pour effet de retarder le rétablissement de la tension et de prolonger la durée du creux de tension. Le même effet se produit lorsque les transformateurs entrent en phase de saturation lors du rétablissement de la tension.

3.3 Amplitude du creux de tension

L'amplitude du creux de tension est régie par la position du point d'observation par rapport à l'emplacement du court-circuit et à la ou aux sources d'alimentation.

Le réseau peut être représenté par un circuit équivalent simple reliant le point d'observation à une source unique équivalente et au site du défaut (voir la Figure 1). La tension entière (100 %) est répartie à travers l'impédance entre la source et le court-circuit. La chute de tension au point d'observation dépend de la grandeur relative des deux impédances reliant ce point à la source et au court-circuit. Selon ces impédances, la profondeur du creux de tension peut être à tout endroit dans la gamme de 0 % à 100 %.



Creux de tension aux points d'observation O_1 et O_2 pour un court-circuit en F et source équivalente unique en S (exprimés en termes de tension résiduelle unitaire).

Figure 1 – Circuit équivalent pour un creux de tension

De façon générale, plus le point d'observation est près du court-circuit, plus la tension à ce point d'observation est proche de la tension de défaut. En d'autres termes, le creux de tension s'approche de la profondeur maximale possible (tension résiduelle nulle) près du court-circuit. D'autre part, si un point d'observation est près d'une source génératrice ou des sources d'énergie stockées, telles que des machines tournantes, l'effet est de rapprocher le point d'observation plus près de la source équivalente unique comme représenté à la Figure 1. Ceci atténue la sévérité du creux de tension observé. (Cependant, si la durée du creux est prolongée, une augmentation de courant résulte de la décélération des moteurs et cela peut accroître la gravité du creux.)

Qu'un creux de tension dû à un court-circuit soit observable en un point particulier d'observation dépend de sa position dans le réseau. Un court-circuit dans un réseau de transport est susceptible d'avoir comme conséquence un creux de tension important qui peut affecter un secteur très étendu, même à une distance de quelques centaines de kilomètres. D'autre part, un court-circuit dans un réseau de distribution a une influence observable sur un beaucoup plus petit champ. Les points d'observation dans le même réseau sont susceptibles de subir des creux importants. La sévérité du creux sera modérée considérablement sur les circuits voisins et à de plus grandes distances, le creux sera à peine perceptible.

Many short circuits are cleared in the time range 100 ms – 500 ms. Faster times are often achieved for short circuits on major transmission lines, while the clearance of short circuits on distribution circuits can be considerably slower.

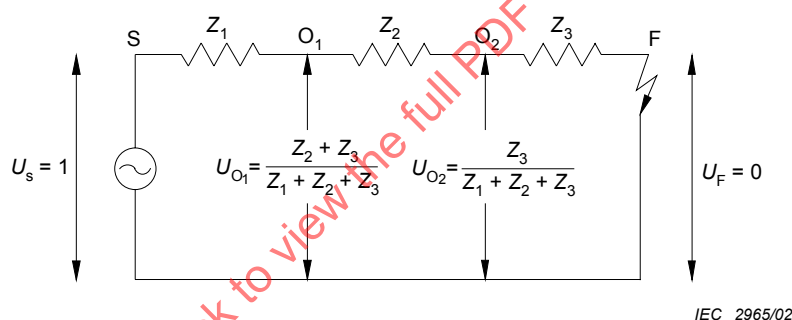
When a current fluctuation other than a short circuit is the source of the voltage dip, the duration is governed by that of the causative event.

Some loads draw a large inrush of current as the voltage recovers at the end of a voltage dip. This has the effect of delaying the recovery of the voltage and extending the duration of the voltage dip. The same effect can occur when transformers go into saturation during voltage recovery.

3.3 Voltage dip magnitude

The magnitude of the voltage dip is governed by the position of the observation point in relation to the site of the short circuit and the source(s) of supply.

The system can be represented by a simple equivalent circuit connecting the observation point to a single equivalent source and to the site of the fault. (see Figure 1.) The entire voltage (100 %) is dissipated over the impedance between the source and the short circuit. The voltage drop to the observation point depends on the relative magnitudes of the two impedances connecting that point to the source and the short circuit. Depending on these impedances, the depth of the voltage dip can be anywhere in the range 0 % to 100 %.



Voltage dips at observation points O_1 and O_2 for short circuit at F and single equivalent source at S (expressed in terms of residual voltage per unit.)

Figure 1 – Equivalent circuit for voltage dips

In broad terms, the nearer the observation point is to the site of the short circuit, the closer the voltage at that point is to the voltage at the fault site. In other words, the voltage dip approaches the maximum possible depth (zero residual voltage) near the short circuit. On the other hand, if an observation point is near a generation source or sources of stored energy, such as rotating machines, the effect is to move the observation point nearer to the equivalent single source as represented in Figure 1. This mitigates the severity of the observed voltage dip. (However, if the dip duration is prolonged, increased current is drawn by decelerating motors, and this can increase the severity of the dip.)

Whether a short circuit results in an observable voltage dip at a particular observation point depends on their positions on the supply system. A short circuit on the transmission system is likely to result in an appreciable voltage dip that is observed over a very wide area, even at a distance of some hundreds of kilometres. On the other hand, a short circuit on a distribution circuit has a much smaller field of observable influence. Observation points on the same circuit are likely to experience severe dips, the dip severity will be moderated considerably on neighbouring circuits, and at larger distances the dip is hardly discernible.

A un point d'observation donné, à l'intérieur ou près d'une installation privée, il est, bien sûr, possible qu'un court-circuit ou tout autre événement causant le même effet, se produise dans cette même installation. Le creux de tension observé peut être égal ou dépasser un creux causer par un court-circuit dans le réseau public de transport ou de distribution.

L'amplitude du creux de tension observé dépend également des phases concernées, autant par le court-circuit que par le point d'observation, et des connexions d'enroulement (étoile-triangle, étoile-étoile, etc.) de tous transformateurs entre ces deux points.

3.3.1 Importance du raccordement des transformateurs et des charges

L'amplitude du creux de tension observé provenant d'un événement particulier est différente si le point d'observation et l'événement sont du même côté ou de part et d'autre du transformateur de réseau ou de client. La succession des phases du court-circuit ou de tout autre événement, la succession du système de mesure, et des méthodes de connexions des enroulements primaires et secondaires du transformateur sont toutes importantes à cet égard. Par exemple, considérant le réseau et les installations de part et d'autre d'un transformateur abaisseur raccordé en Dyn ou Dy, un défaut à la terre sur un seul conducteur peut se traduire du côté primaire en un creux de tension de 0 V (tension résiduelle) sur une phase, mais, du côté secondaire, la tension entre phases et neutre sur deux phases peut atteindre 58 % de la tension préexistante.

Dans la pratique, les charges qui sont sensibles aux creux de tension (convertisseurs et commandes de puissance, moteurs, équipement de contrôle, etc.) sont souvent connectées entre phases dans les installations industrielles. Elles seraient donc soumises aux creux de tension entre phases plutôt qu'aux creux de tension phase-neutre. Ceci doit être pris en compte en notant si les mesures sont faites phase-neutre, entre phases ou les deux ensemble.

Par exemple, le Tableau 1 fournit un résumé des creux de tension qui seraient observés du côté secondaire de différents transformateurs abaisseurs, avec un défaut phase-terre sur un seul conducteur côté primaire, entraînant une chute de tension de 100 % sur la phase 1 de ce côté. (Le réseau d'alimentation est supposé être un système neutre mis directement à la terre.)

Tableau 1 – Tensions secondaires d'un transformateur avec un défaut d'une phase à la terre au primaire

Couplage du transformateur ^a	Tension phase-neutre			Tension phase-phase		
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁₂	V ₂₃	V ₁₃
YNyn ou YNy	0,0	1,0	1,0	0,58	1,0	0,58
Yy, Yyn, ou Dd	0,33	0,88	0,88	0,58	1,0	0,58
YNd ou Yd	–	–	–	0,33	0,88	0,88
Dyn ou Dy	0,58	1,0	0,58	0,88	0,88	0,33

^a Les lettres en majuscule correspondent aux couplages des enroulements primaires (côté alimentation du réseau) et les lettres en minuscule correspondent aux couplage des enroulements secondaires (côté charge). N et n désignent le neutre du transformateur mis à la terre au primaire ou au secondaire respectivement.
Voir [6]¹.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

Given an observation point within or near a private installation, it is, of course, possible that a short circuit or other causative event will occur within the same installation. The observed voltage dip that results can equal or exceed a dip caused by a short circuit on the public transmission or distribution system.

The observed magnitude of a voltage dip depends also on the phases involved, both in the short circuit and at the observation point, and on the winding connections (star-delta, star-star, etc.) of any transformers between those two points.

3.3.1 Significance of transformer and load connections

The observed voltage dip magnitude arising from a particular causative event depends on whether the observation point and the event are on the same or different sides of a network or customer transformer. The phasing of the short circuit or other event, the phasing of the measurement system, and the connection methods of the primary and secondary transformer windings are all significant in this regard. For instance, considering the network or installations on either side of a step down transformer connected Dyn or Dy, a single line to ground fault can result, on the primary side, in a voltage dip of 0 V (residual voltage) on one phase, but, on the secondary side, a line to neutral voltage on two phases of 58 % of the pre-existing voltage.

In practice, loads that are sensitive to voltage dips (power converters and drives, motors, control equipment, etc.) are often connected line-to-line in industrial installations. They would therefore be subjected to line-to-line voltage dips rather than line-to-neutral dips. This needs to be taken into account in considering whether measurements are conducted line-to-neutral, line-to-line, or both.

For example, Table 1 provides a summary of the voltage dips that would be observed at the secondary sides of different step down transformers, with a single line-to-ground fault on the primary, causing a 100 % voltage drop on phase 1 on that side. (The supply network is assumed to be a directly grounded neutral system.)

**Table 1 – Transformer secondary voltages
with a single line-to-ground fault on the primary**

Transformer connection ^a	Line-to-neutral voltage			Line-to-line voltage		
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁₂	V ₂₃	V ₁₃
YNyn or YNy	0,0	1,0	1,0	0,58	1,0	0,58
Yy, Yyn, or Dd	0,33	0,88	0,88	0,58	1,0	0,58
YNd or Yd	–	–	–	0,33	0,88	0,88
Dyn or Dy	0,58	1,0	0,58	0,88	0,88	0,33
^a Capital letters refer to primary winding connection (supply network side) and lower case letters refer to secondary winding connection (load side). N and n designate a grounded primary and secondary transformer neutral, respectively. See [6] ¹ .						

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

3.4 Coupures brèves

Le fonctionnement d'un disjoncteur ou d'un fusible déconnecte une partie du réseau de la source d'énergie. Dans le cas d'un réseau radial, ceci interrompt l'approvisionnement de toutes les parties en aval du réseau. Dans le cas d'un réseau maillé, les déconnexions à plus d'un point sont nécessaires afin de supprimer le défaut. Les utilisateurs de l'électricité compris sur la partie du réseau déconnecté subissent une interruption de l'alimentation.

Dans le cas de réseaux aériens, des séquences de ré-alimentation automatiques sont souvent appliquées aux disjoncteurs qui interrompent des courants de défaut. Leur but est de ramener le réseau à la situation normale dans un minimum de temps au cas où le défaut s'avérerait être un défaut transitoire (auto-extincteur) (comme dans le cas d'un arc, dû à une surtension, ne provoquant aucun dommage sérieux ou permanent aux composants impliqués). Si la première ré-alimentation se révèle infructueuse, il peut y avoir d'autres tentatives à intervalles pré-réglés. Si le défaut demeure après que la séquence pré-réglée des opérations d'ouverture-refermeture aura été terminée, le disjoncteur reste dans la position d'ouverture et n'est pas fermé jusqu'à ce que les réparations nécessaires aient été effectuées à l'emplacement du défaut. (Naturellement, chaque ré-alimentation, alors que le défaut existe toujours, provoque un creux de tension supplémentaire, la profondeur observée dépend de la position du point d'observation.)

En plus de l'isolation réelle du défaut, d'autres manœuvres sont souvent effectuées, soit automatiquement soit manuellement, afin de réduire l'étendue du réseau et le nombre d'utilisateurs interrompus, résultat de la première manœuvre de la suppression du défaut.

Donc, un défaut unique peut avoir comme conséquence une série complexe de manœuvres, observable par les utilisateurs comme série d'interruptions de diverses durées. Selon la structure du réseau, le cas particulier et les positions individuelles des utilisateurs par rapport aux emplacements du défaut et des interrupteurs impliqués, certains utilisateurs éprouveront des coupures très brèves, alors que d'autres peuvent même devoir attendre des réparations à accomplir avant que l'approvisionnement puisse être reconstitué.

Des interruptions ayant une durée jusqu'à 1 min (ou, dans le cas de certaines ré-alimentations, jusqu'à 3 min) sont classifiées conventionnellement comme coupures brèves.

3.5 Causes des creux de tension et des coupures brèves

Comme déjà établi, la cause des creux de tension (qui parfois dégénèrent en coupures brèves ou y sont associés) est l'important pic de courant impliqué dans un court-circuit dans un réseau électrique, et de temps en temps les fluctuations à grande échelle de charge. L'écoulement du courant à travers les impédances des composants de réseau a comme conséquence des chutes de tension, qui diminuent pour un instant la tension fournie aux utilisateurs de l'électricité.

La rupture diélectrique impliquée dans les courts-circuits résulte soit de la contrainte due à la surtension soit de l'affaiblissement, l'endommagement ou la rupture de l'isolation de quelques manières. Les causes des défauts qui provoquent ces résultats sont multiples, incluant:

- événements atmosphériques: foudre et tempête de vent, neige, glace, dépôt de sel ou polluants atmosphériques sur des isolateurs, débris transportés par le vent;
- interférence et dommages mécaniques: collision par véhicule, élément de construction, excavateur, animaux et oiseaux, branches d'arbres, vandalisme et actes de malveillance;
- panne de réseau dans une usine: détérioration due au vieillissement, corrosion, putréfaction, vices latents de fabrication ou de construction;
- accidents ou erreurs de fonctionnement et de maintenance;
- Événements naturels d'importance: inondations, éboulements, tremblements de terre, avalanches.

3.4 Short interruptions

The operation of a circuit breaker or fuse disconnects part of the system from the source of energy. In the case of a radial circuit, this interrupts the supply to all downstream parts of the system. In the case of a meshed network, disconnections at more than one point are necessary in order to clear the fault. Electricity users within the disconnected segment of network suffer an interruption of supply.

In the case of overhead networks, automatic reclosing sequences are often applied to the circuit breakers that interrupt fault currents. Their purpose is to restore the circuit to normal with the minimum of delay in the event that the fault proves to be a transient (self-clearing) one (as in the case of a flashover, due to over-voltage, resulting in no serious or permanent damage to the components involved). If the first reclosing attempt proves unsuccessful, there may be subsequent attempts at pre-set intervals. If the fault remains after the pre-set sequence of open-reclose operations is completed, the circuit breaker remains in the open position and is not closed again until the necessary repairs have been carried out at the fault site. (Of course, each reclosure while the fault still exists results in an additional voltage dip, the observed depth of which depends on the position of the observation point.)

In addition to the actual isolation of the fault, further switching is often carried out, either automatically or manually, in order to reduce the extent of network and number of users interrupted as a result of the initial fault clearance.

Thus, a single fault can result in a complex series of switching operations, observable to users as a series of interruptions of various durations. Depending on the structure of the network in the particular case and on the positions of individual users relative to the sites of the fault and the relevant switches, some users will experience very brief interruptions, while others may even have to wait for repairs to be completed before supply can be restored.

Interruptions having a duration up to 1 min (or, in the case of some reclosing schemes, up to 3 min) are classified conventionally as short interruptions.

3.5 Causes of voltage dips and short interruptions

As already stated, the cause of voltage dips (which sometimes extend to or are associated with short interruptions) is the major surge of current involved in a short circuit on an electrical system, and occasionally in large-scale load fluctuations. The flow of current through the impedances of the network components results in voltage drops, which briefly depress the voltage delivered to electricity users.

The dielectric breakdown involved in short circuits arises either from the stress of overvoltage or because the insulation is weakened, damaged or bridged in some way. The causes of the faults which have these results are many, including:

- atmospheric events: lightning and wind storms, snow, ice, deposition of salt or atmospheric pollutants on insulators, wind-borne debris;
- mechanical interference and damage: contact by vehicles, construction equipment, excavation equipment, animals and birds, growing trees, vandalism and malicious damage;
- breakdown of network plant: deterioration with age, corrosion, rot, latent manufacturing or construction faults;
- accidents or errors in operation and maintenance;
- major natural events: floods, landslides, earthquakes, avalanches.

Un certain nombre de défauts dû à ces causes est inévitable sur tous les réseaux. Quelques types de réseaux sont plus exposés soit à la plupart de ces causes soit à une grande partie. En particulier, des réseaux aériens sont exposés à la plupart de ces causes.

Des creux de tension résultant de fluctuations de charge sont associés au démarrage de grands moteurs, particulièrement ceux dans des endroits reculés alimentés par de longues lignes, semblablement les moteurs avec des grosses fluctuations de charge, les fours à arc, les appareils de soudage, etc. (Cependant, dans la gestion des réseaux publics, les conditions de fourniture imposent généralement des limites à de telles fluctuations.)

3.6 Exemple de défaut dans un réseau MT

La Figure 2 montre les creux de tension et les coupures brèves résultant d'un défaut sur un feeder MT. Trois cas sont représentés:

- un défaut fugitif qui s'avère être supprimé après la première manœuvre de réenclenchement;
- un défaut semi-permanent qui persiste après la première manœuvre de réenclenchement mais s'avère être supprimé à la deuxième manœuvre de réenclenchement (après un certain délai);
- un défaut permanent qui persiste toujours après que toute la séquence de réenclenchement a été effectuée.

Dans chaque cas, les creux et les interruptions de tension sont montrés comme observés par deux clients, un sur le même conducteur que le défaut mais en amont de lui, et l'autre sur un autre conducteur provenant du même jeu de barres. (Les temps montrés sont pour l'illustration, les temps réels dépendant des réglages adoptés pour un réseau particulier.)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61000-2-8:2002

A certain incidence of faults due to these causes is inevitable on all networks. Some types of network have a greater exposure to many of these causes or to a greater range of causes. In particular, overhead networks are exposed to most of the causes.

Voltage dips arising from load fluctuations are associated with the starting of large motors, especially those in isolated locations served by long lines, similar motors with gross fluctuations of load, arc furnaces, welding equipment, etc. (However, in the management of public networks, limits are generally applied to such fluctuations as a condition of supply.)

3.6 Example of fault on MV network

Figure 2 illustrates the voltage dips and short interruptions resulting from a fault on an MV feeder. Three cases are shown:

- a transient fault which is found to have cleared at the first reclose operation;
- a semi-permanent fault which still remains at the first reclose operation, but is found to have cleared at the second (delayed) reclose operation;
- a permanent fault which still remains after the full reclose sequence has been completed.

In each case, the voltage dips and interruptions are shown as observed by two customers, one on the same feeder as the fault but upstream from it, and the other on another feeder from the same busbar. (The times shown are for illustration. Actual times depend on the settings adopted for a particular network.)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61000-2-8:2002

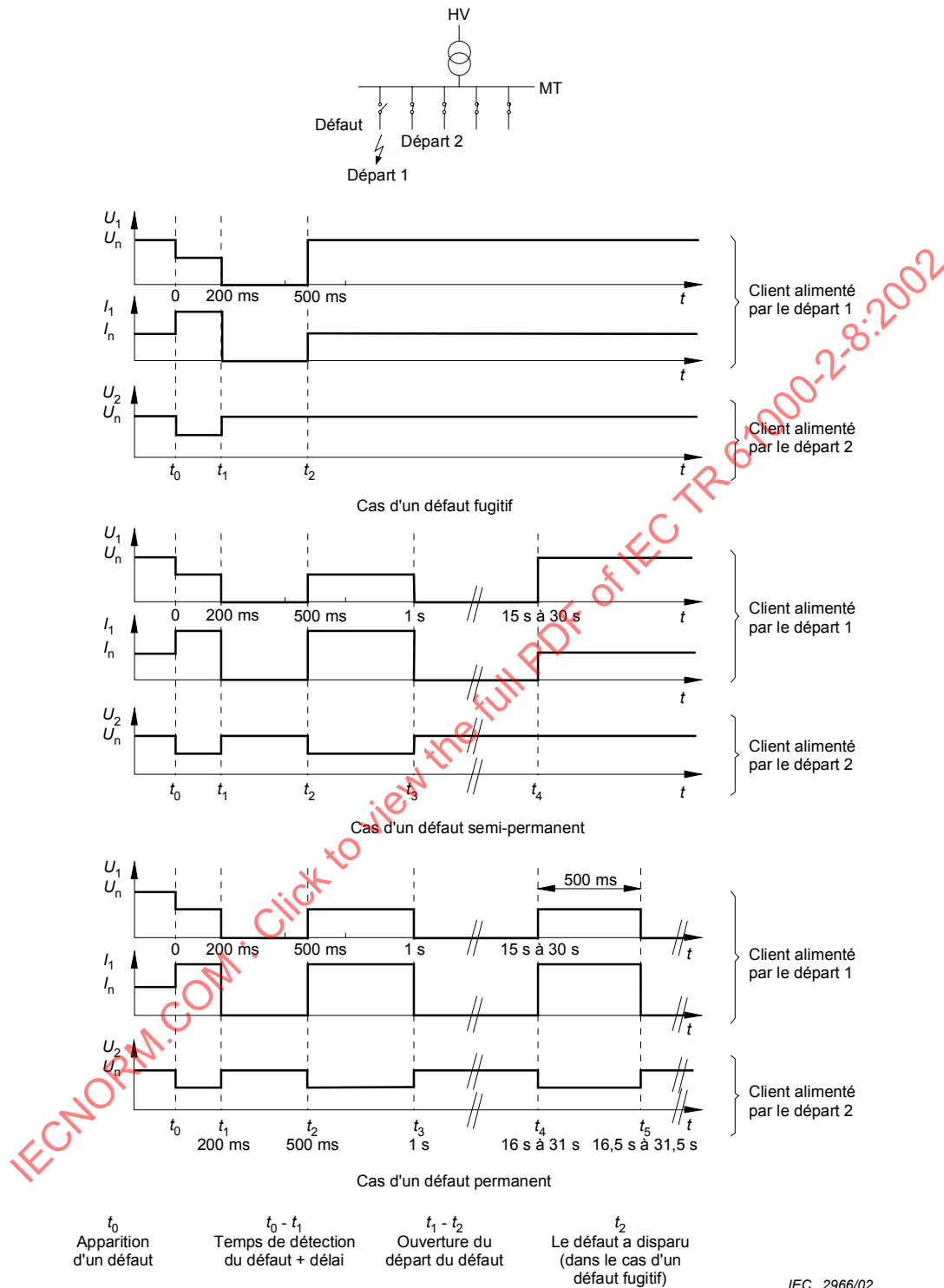


Figure 2 – Creux de tension et coupures brèves résultant d'un défaut en réseau MT

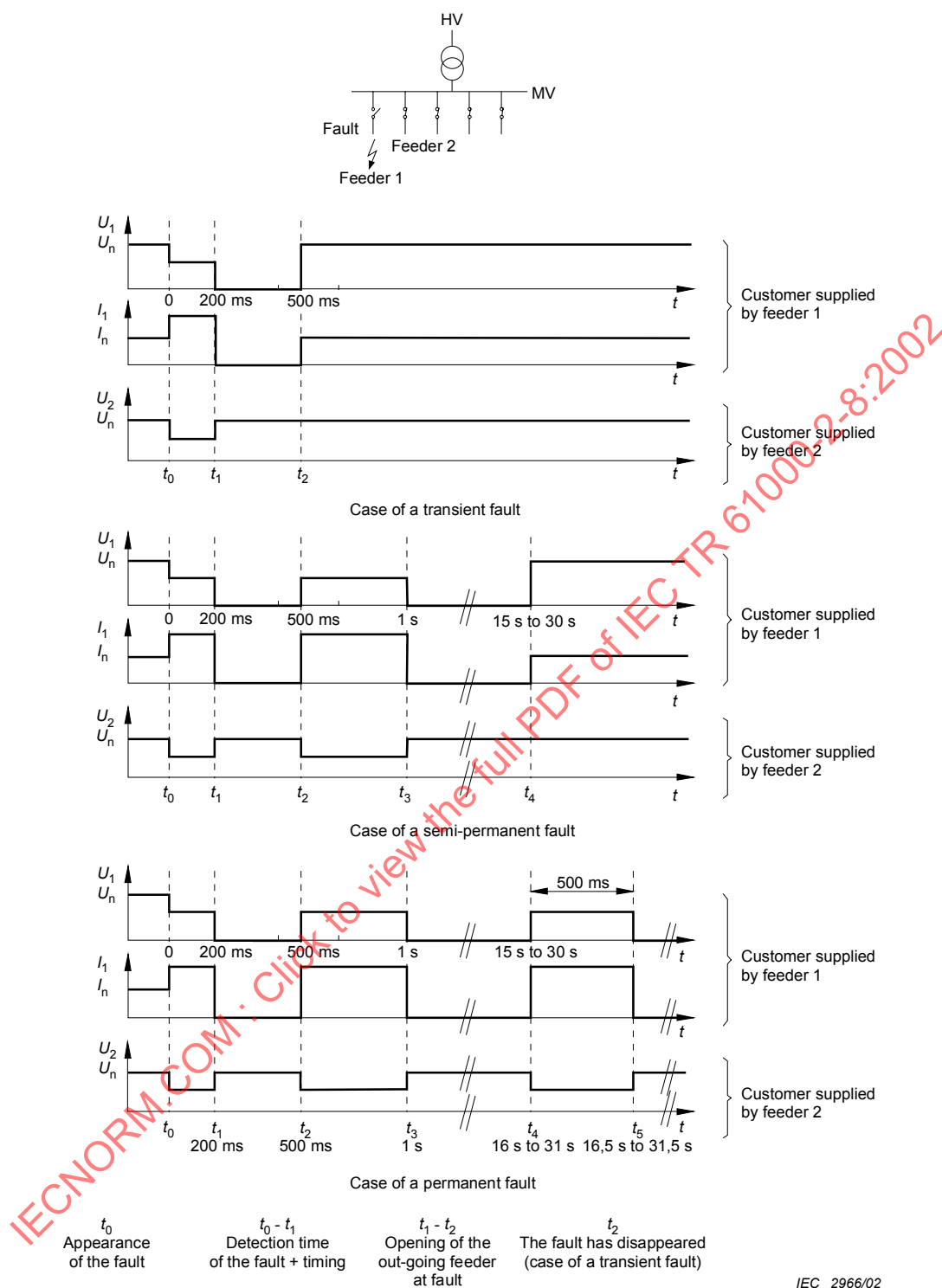


Figure 2 – Voltage dips and short interruptions resulting from fault on MV network

4 Effets des creux de tension et des coupures brèves

4.1 Effets généraux

Dans ce document, qui fait partie de la série CEI 61000, les effets concernés sont ceux en relation avec la CEM, c'est-à-dire la dégradation possible des performances des équipements. Comme phénomènes CEM, les creux de tension et les coupures brèves peuvent être la cause de ce que les équipements connectés au réseau d'alimentation ne fonctionnent pas de la façon pour laquelle ils ont été prévus.

La relation fondamentale entre le réseau et l'équipement qui lui est connecté, est que le réseau se comporte comme une source d'énergie de laquelle l'équipement tire toute l'énergie dont il a besoin pour effectuer sa fonction prévue. La quantité d'énergie soutirée et l'usage qui en est fait est presque entièrement une question de conception et d'exploitation de l'équipement d'utilisation (incluant les dispositifs de commutation et de commande qui lui sont incorporés) et elle est limitée seulement par la capacité du réseau à fournir l'énergie au point de raccordement de l'équipement.

L'aptitude du réseau à livrer de l'énergie diminue tandis que la tension chute. Les creux de tension et les coupures brèves occasionnent donc une diminution ou une interruption provisoire de l'approvisionnement d'énergie à l'équipement. Ceci mène à une dégradation des performances d'une façon qui varie avec le type d'équipement impliqué, avec l'aboutissement possible d'un arrêt complet des opérations.

Une option qui est parfois mise en application soit dans la conception de l'équipement soit dans son installation, est d'incorporer un dispositif protecteur afin d'interrompre l'approvisionnement en cas de chute de tension au-dessous d'un seuil fixé. Ce dispositif prévient les dommages et autres effets indésirables du fait d'une tension réduite. Une telle protection peut avoir l'effet de convertir un creux de tension en coupure longue pour l'équipement concerné. La coupure longue n'est pas provoquée par le creux de tension mais est le résultat recherché d'un dispositif protecteur qui est conçu pour répondre de cette manière à la réduction de tension.

Comme pour tous les phénomènes de perturbation, la gravité des effets des creux de tension et des coupures brèves, dépend non seulement des effets directs sur l'équipement concerné, mais aussi du niveau de l'importance et de la criticité de la fonction assurée par cet équipement. Par exemple, les méthodes de fabrication modernes impliquent souvent des processus continus complexes utilisant beaucoup de dispositifs agissant ensemble. Un raté ou une mise hors service d'un quelconque appareil, en réponse à un creux de tension ou à une coupure brève, peut rendre nécessaire d'arrêter le processus entier, avec la conséquence d'une perte de production et de dommages ou d'un engorgement sérieux de l'équipement. Ceci peut être une des conséquences les plus graves et les plus chères des creux de tension et des coupures brèves. Une telle avarie ou perte conséquente, cependant, est une fonction de la conception du processus et est un effet indirect ou secondaire du creux de tension ou de la coupure brève.

Les considérations de la CEM sont concernées par les effets directs sur les performances des appareils prenant un approvisionnement en énergie du réseau électrique. Certains effets des plus courants sont décrits plus particulièrement pour quelques types d'équipements dans les paragraphes qui suivent. La liste n'est pas exhaustive.

NOTE Un déphasage subit peut accompagner le creux de tension et peut avoir un effet significatif sur certains équipements. Ce phénomène n'est pas développé dans ce rapport.

4 Effects of voltage dips and short interruptions

4.1 General effects

In this document within the IEC 61000 series, the relevant effects are those relating to EMC, i.e. the possible degradation of the performance of equipment. As EMC phenomena, voltage dips and short interruptions can cause equipment connected to the supply network to perform in a manner other than that which is intended.

The fundamental relationship between the supply system and the equipment connected to it is that the system exists as an energy source from which the equipment draws whatever energy it needs to carry out its intended function. The amount of energy drawn and the use to which it is put is almost entirely a matter of the design and operation of the utilisation equipment (including the switching and control features incorporated in it), limited only by the capacity of the network to deliver energy at the point of connection of the equipment.

The energy delivery capacity of the network decreases as the voltage decreases. Voltage dips and short interruptions, therefore, cause a temporary diminution or stoppage of the energy flow to the equipment. This leads to a degradation of performance in a manner that varies with the type of equipment involved, possibly extending to a complete cessation of operation.

An option that is sometimes implemented in either the design or installation of the equipment is to incorporate a protective device for the purpose of interrupting the supply in the event of the voltage falling below a set threshold, thereby preventing damage or other unwanted effects in conditions of reduced voltage. Such protection can have the effect of converting a voltage dip into a long interruption for the equipment concerned. The long interruption is not caused by the voltage dip, but is the intended result of a protective feature that is designed to respond in that way to reduced voltage.

As with all disturbance phenomena, the gravity of the effects of voltage dips and short interruptions depends not only on the direct effects on the equipment concerned, but also on how important and critical is the function carried out by that equipment. For example, modern manufacturing methods often involve complex continuous processes utilising many devices acting together. A failure or removal from service of any one device, in response to a voltage dip or short interruption, can necessitate stopping the entire process, with the consequence of loss of product and damage or serious fouling of equipment. This can be one of the most serious and expensive consequences of voltage dips and short interruptions. Such consequential damage or loss, however, is a function of the design of the process and is an indirect or secondary effect of the voltage dip or short interruption.

EMC considerations are concerned with the direct effects on the performance of the actual appliances drawing an energy supply from the electricity network. Some of the more common effects are described more particularly for certain types of equipment in the subclauses that follow. The list is not an exhaustive one.

NOTE A sudden phase shift can accompany the voltage dip and can have a significant effect on some equipment. This phenomenon is not discussed further in this report.

4.2 Effets sur des dispositifs particuliers

4.2.1 Équipement de technologie de l'information (IT) et de contrôle de procédé

D'une façon générale, les principales unités fonctionnelles de ces équipements, exigent des approvisionnements d'alimentation en courant continu, et ceux-ci sont fournis à l'aide de modules d'alimentation d'énergie qui convertissent l'approvisionnement de courant alternatif du réseau public d'alimentation d'énergie. Habituellement, c'est la tension minimale atteinte pendant un creux de tension qui est significative pour les modules d'alimentation d'énergie. La Figure 3 montre la courbe bien connue d'ITIC pour des objectifs minimaux d'immunité aux creux. (Elle inclut également des tensions au-dessus de la gamme normale.) Il faut que l'utilisateur de l'équipement considère si les conséquences des creux qui sont plus sévères que ceux montrés par la courbe, sont telles que les mesures additionnelles sont nécessaires afin de maintenir les performances satisfaisantes. Selon l'application de l'équipement, les ratés peuvent avoir des implications de sécurité ou autres. Les pannes de la signalisation routière sont un parmi beaucoup d'exemples possibles.

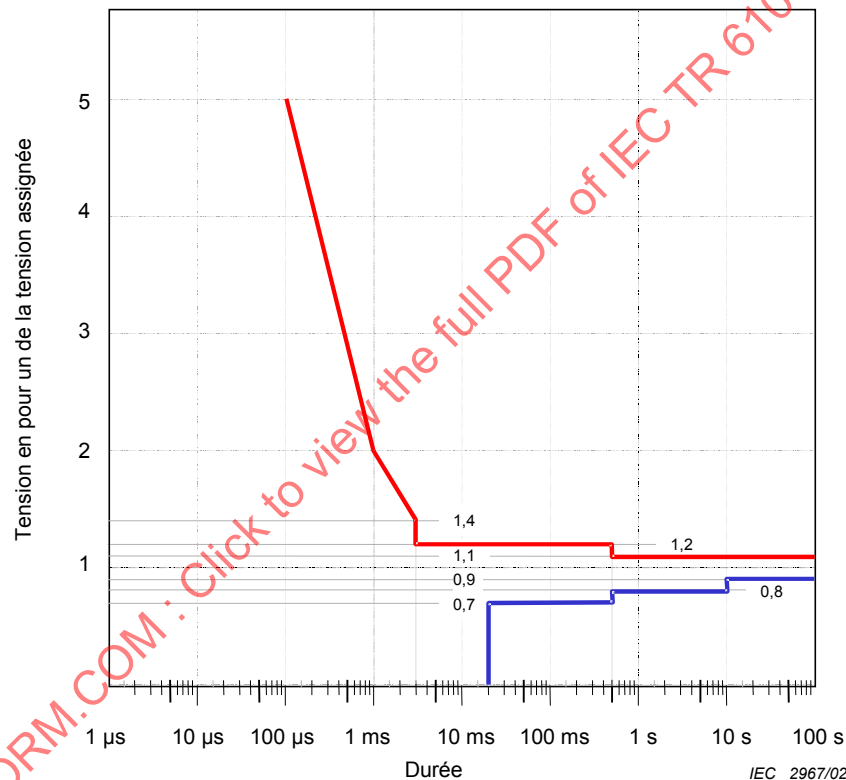


Figure 3 – Courbe ITIC (CBEMA) pour un équipement raccordé à un réseau 120 V 60 Hz

4.2.2 Relais et contacteurs

Les relais et les contacteurs peuvent déclencher quand la tension est réduite au-dessous d'environ 80 % du nominal pour une durée de plus d'un cycle. Les conséquences varient avec l'application, mais peuvent être très graves en termes financiers ou de sécurité.

4.2.3 Moteurs asynchrones

Le point de fonctionnement d'un moteur asynchrone est régi par l'équilibre entre le couple-vitesse caractéristique du moteur, qui dépend du carré de la tension, et de celui de la charge mécanique. Pendant un creux de tension, le couple du moteur commence par diminuer, réduisant la vitesse, tandis qu'il peut y avoir un accroissement de courant jusqu'à ce qu'un nouveau point de fonctionnement soit atteint.

4.2 Effects on some particular devices

4.2.1 IT and process control equipment

Generally, the principal functional units of this equipment require d.c. power supplies, and these are provided by means of power supply modules which convert the a.c. supply from the public power supply system. Usually, it is the minimum voltage reached during a voltage dip that is significant for the power supply modules. Figure 3 shows the well-known ITIC curve for minimum immunity objectives concerning dips. (It includes also voltages above the normal range.) The user of the equipment must consider whether the consequences of dips that are more severe than shown by the curve are such that additional measures are necessary in order to maintain satisfactory performance. Depending on the application of the equipment, failures can have safety or other implications. Traffic signalling failure is one of many possible examples.

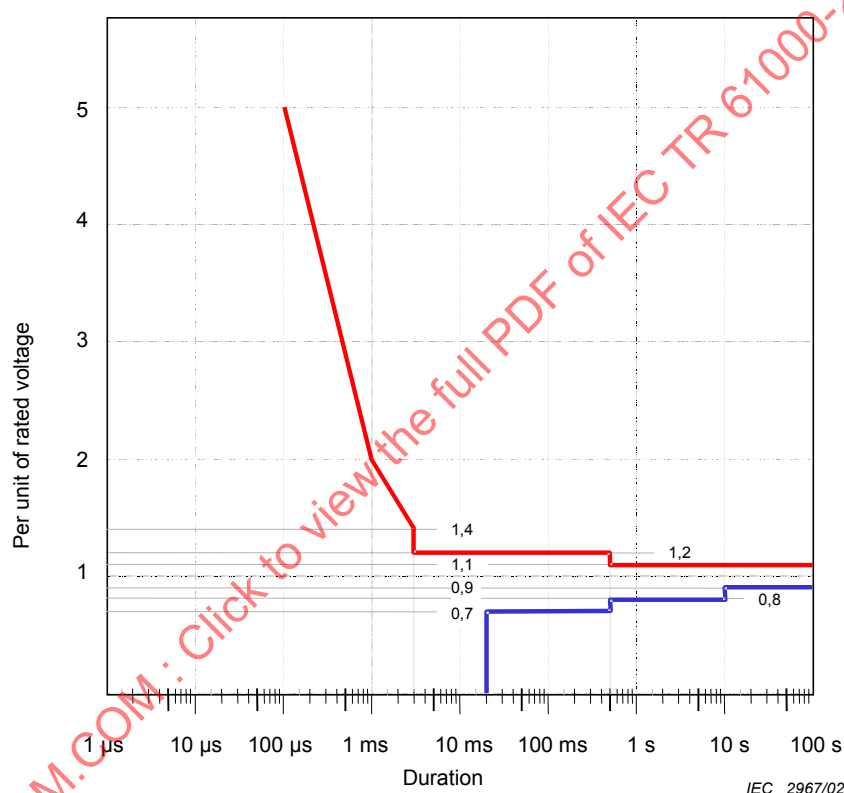


Figure 3 – ITIC (CBEMA) curve for equipment connected to 120 V 60 Hz systems

4.2.2 Relays and contactors

AC relays and contactors can drop out when the voltage is reduced below about 80 % of nominal for a duration of more than one cycle. The consequences vary with the application, but can be very severe in safety or financial terms.

4.2.3 Asynchronous motors

The point of operation of an asynchronous motor is governed by the balance between the torque-speed characteristic of the motor, which depends on the square of the voltage, and that of the mechanical load. During a voltage dip, the torque of the motor initially decreases, reducing the speed, while there can be an increase in the current until a new point of operation is reached.

Les moteurs à induction avec un couple maximal plus haut que 2,2 fois leur valeur nominale sont peu sensibles aux creux présentant une tension résiduelle au-dessus de 70 % de la tension nominale. Il y a une augmentation de courant de l'ordre de 25 % à 35 %, alors que la puissance tirée du réseau est plutôt constante ou diminue un peu. (Si le couple défini par la charge est plutôt constant, la vitesse diminue seulement d'un petit pourcentage, correspondant à l'augmentation du glissement dû au moindre flux dans le moteur.) Les effets sont principalement thermiques, avec une constante de temps plus grande que les plus longs creux. La surintensité due au rétablissement de tension est généralement limitée et, pour les moteurs raccordés directement, elle n'excède pas le courant de démarrage habituel.

Les creux d'une plus grande profondeur sont équivalents aux coupures brèves quant à leur effet sur le fonctionnement du moteur. Deux comportements différents sont rencontrés, selon la valeur de la constante de temps mécanique (rapport de l'inertie totale au couple nominal du moteur).

- Lorsque la constante de temps mécanique est grande comparée à la durée du creux, la vitesse diminue seulement légèrement. La constante de temps du flux est généralement de l'ordre de quelques centaines de millisecondes, de sorte qu'il y a la possibilité que pendant le rétablissement, la contre-force électromotrice (f.é.m.) soit en opposition de phase par rapport à la tension d'alimentation. Le pic de courant transitoire résultant peut être plus grand que le courant normal de démarrage.
- Lorsque la constante de temps mécanique est petite comparée à la durée du creux, la diminution de vitesse est telle que le moteur s'arrête pratiquement. Le pic de courant dû au rétablissement de la tension, correspond au courant normal de démarrage.

NOTE Il faut considérer la possibilité de déclencher les relais ou les contacteurs de protection du moteur – voir 4.2.2.

Le rétablissement de tension suivant un creux peut également être une phase critique s'il y a un grand nombre de moteurs reliés aux mêmes barres. Dans ce cas, le pic de courant élevé accompagnant le rétablissement de tension, peut produire une chute de tension secondaire, retardant le rétablissement de tension et différant la reprise de l'accélération des moteurs jusqu'à la vitesse normale. Dans certains cas, il peut être impossible de reprendre l'accélération, la déconnexion est de ce fait requise.

4.2.4 Moteurs synchrones

Le fonctionnement d'un moteur synchrone est défini du côté sortie par le couple et la vitesse, et du côté entrée par la tension et la puissance active. Le flux, la puissance réactive et le décalage angulaire du rotor sont des variables qui sont liées à la tension et au couple. Un creux de tension peut être toléré pour autant que de nouvelles conditions de fonctionnement stables soient établies. C'est généralement le cas pour les creux présentant une tension résiduelle de 75 % ou de 80 % (composante directe). En outre, le circuit d'excitation peut être affecté, et devrait être considéré.

Des conditions plus sévères empêchent que de nouvelles conditions de fonctionnement stables soient établies, et créent une perte de synchronisme en augmentant le décalage angulaire du rotor jusqu'à la limite de la stabilité. Que cet angle limite soit atteint, dépend de la durée du creux de tension, du niveau auquel la tension est réduite et de la constante de temps mécanique. L'analyse complète est complexe et il faut tenir compte des enroulements amortisseurs, qui peuvent développer un couple asynchrone.

4.2.5 Systèmes d'entraînement de puissance

Dans le cas des systèmes d'entraînement de puissance (PDS) qui peuvent être sensibles même aux creux de tension minimes, les effets des creux de tension et des coupures brèves peuvent être tout à fait complexes, puisque les éléments constitutifs doivent être considérés autant pris à part que complètement assemblés. De tels systèmes contiennent généralement un convertisseur/onduleur de puissance, moteur, élément de commande et un certain nombre de composants auxiliaires.

Induction motors with a maximum torque higher than 2,2 times the rated value are very tolerant of dips presenting a positive phase sequence residual voltage above 70 % of the rated voltage. There is a current increase in the region of 25 % to 35 %, while the power drawn from the network is rather constant or decreases by a small amount. (If the torque defined by the load is rather constant, the speed decreases by only a small percentage, corresponding to the increase of slip due to the much lower flux in the motor.) Effects are mainly thermal, with a time constant much greater than even the longest dips. The over-current with voltage recovery is generally limited and, for directly connected motors, does not exceed the usual starting current.

Dips of larger depth are equivalent to short interruptions in their effect on the operation of the motor. Two different behaviours are found, according to the value of the mechanical time constant (ratio of total inertia to the rated torque of the motor).

- Where the mechanical time constant is high compared with the duration of the dip the speed decreases only slightly. The time constant of the flux is generally in the region of a few hundred milliseconds, so that there is the possibility of the back electromotive force (e.m.f) being in phase opposition to the supply voltage during recovery. The resulting transient inrush current can be greater than the normal starting current.
- Where the mechanical time constant is low compared with the duration of the dip the speed decrease is such that the motor virtually stops. The inrush current with voltage recovery corresponds to the normal starting current.

NOTE The possibility of motor protection relays or contactors dropping out must be considered – see 4.2.2.

The voltage recovery following a dip can also be a critical phase if there is a large number of motors connected to the same bus. In that case the high inrush current at the voltage recovery can produce a secondary voltage drop, delaying voltage recovery and retarding the re-acceleration of motors to normal speed. In some cases, it can be impossible to re-accelerate, thus requiring disconnection of motors.

4.2.4 Synchronous motors

Operation of a synchronous motor is defined on the output side by torque and speed, and on the input side by voltage and active power. Flux, reactive power and internal rotor angle are variables that are linked to the voltage and torque. The voltage dip can be tolerated provided new, stable operating conditions are established. This is generally the case for dips presenting a residual voltage of 75 % or 80 % (positive sequence). Also, the excitation circuit may be affected, and should be considered.

More severe conditions prevent new stable operating conditions being established, and create a loss of synchronism by increasing the rotor angle up to the limit of stability. Whether this critical angle is reached depends on the duration of the voltage dip, the level to which the voltage is reduced and the mechanical time constant. Complete analysis is complex and must take into account the damping cage, which can develop an asynchronous torque.

4.2.5 Power drive systems

In the case of power drive systems (PDS), which can be sensitive to even minor voltage dips, the effects of voltage dips and short interruptions can be quite complex, since the component parts must be considered as well as the complete assembly. Such systems generally contain a power converter/inverter, motor, control element and a number of auxiliary components.

L'effet sur l'élément de commande peut être critique, puisqu'il a la fonction de contrôler la réponse des autres éléments au creux de tension ou à la coupure brève. La réduction de la tension a comme conséquence une réduction de la puissance qui peut être transférée au moteur, et de là à l'équipement entraîné, et peut mener à la perte de commande. Les convertisseurs régénérateurs peuvent être particulièrement sensibles ou requérir une attention spécifique, en particulier si le creux de tension ou la coupure brève coïncide avec un flux de puissance inversé (fonctionnement en régénérateur).

Le convertisseur a peu ou pas de capacité de stockage d'énergie. D'une façon générale, l'équipement entraîné a une certaine capacité de stockage d'énergie, qui peut être employée dans certaines conditions.

4.2.6 Éclairage

Les lampes à décharges à haute pression sont éteintes par les creux de tension qui réduisent la tension à moins que 90 % environ, de la valeur nominale. Elles peuvent avoir besoin de plusieurs minutes pour se remettre en marche, en conséquence du refroidissement et de la perte de pression. Des systèmes d'éclairage contenant des composants électroniques peuvent être affectés comme dans 4.2.1.

5 Mesures réparatrices

5.1 Considérations générales

Les normes approchent la compatibilité électromagnétique en appliquant des limites coordonnées d'émission et d'immunité. On s'efforce d'une part d'empêcher la perturbation électromagnétique d'être émise à un niveau excessif et d'autre part, de fournir à l'équipement exposé à la perturbation un niveau adéquat d'immunité – un niveau qui lui permet de fonctionner comme prévu.

Dans le cas des creux de tension et des coupures brèves, cependant, qui sont une réponse normale d'un réseau électrique aux courts-circuits ou à n'importe quelle montée subite du courant, le niveau de perturbation a deux dimensions, la tension résiduelle et la durée. Une limite d'émission devrait couvrir les deux dimensions.

La tension résiduelle ne peut pas, en général, être modifiée. Elle s'étend sur la gamme de zéro volt, jusqu'à environ le niveau normal de la tension d'alimentation, selon les positions relatives des endroits du court circuit, des sources d'observation et de génération.

La durée peut être changée dans une certaine mesure, puisqu'elle est en grande partie déterminée par la vitesse avec laquelle les courts-circuits ont été éliminés. Cependant, un dispositif nécessaire de protection de court-circuit est la sélection des délais de fonctionnement des interrupteurs, des relais, etc. à différents points sur le réseau pour s'assurer que chaque court-circuit est éliminé au point le plus approprié. Cela signifie que le temps d'élimination et par conséquent, la durée du creux de tension et des coupures brèves dépendent de la position du court-circuit. (Si l'événement d'origine est autre qu'un court-circuit, la durée dépend de l'événement concerné.)

Ainsi, il y a une marge restreinte pour la limitation d'émission en termes de niveau de la perturbation. (Il peut y avoir plusieurs moyens dans des cas particuliers pour influencer la fréquence avec laquelle les creux et les coupures brèves se produisent, en prenant des actions pour réduire l'exposition d'un réseau au défaut.) Par conséquent il est nécessaire de considérer s'il est possible de fournir l'immunité dans l'équipement qui est exposé aux creux de tension et aux coupures brèves.

The effect on the control element can be critical, since it has the function of managing the response of the other elements to the voltage dip or short interruption. The reduction in voltage results in a reduction in the power that can be transferred to the motor, and thence to the driven equipment, and can lead to loss of control. Regenerative converters can be especially sensitive or require specific management, particularly if the voltage dip or short interruption coincides with reversed power flow.

The converter has little or no available energy storage capability. Generally, the driven equipment has some energy storage capability, which can be used under certain conditions.

4.2.6 Lighting

High-pressure discharge lamps are extinguished by voltage dips that reduce the voltage to less than about 90 % of the nominal value. As a result of the consequent cooling and loss of pressure they may require several minutes to restart. Lighting systems containing electronic components can be affected as in 4.2.1.

5 Remedial measures

5.1 General considerations

The standard approach to electromagnetic compatibility is to apply co-ordinated emission and immunity limits. The attempt is made, on the one hand, to prevent electromagnetic disturbance from being emitted at an excessive level and, on the other hand, to provide the equipment exposed to disturbance with an adequate level of immunity – a level that enables it to operate as intended.

In the case of voltage dips and short interruptions, however, which are a natural response of an electrical system to short circuits or any surge of current, the disturbance level has two dimensions, residual voltage and duration. An emission limit would have to cover both dimensions.

The residual voltage cannot, in general, be altered. It extends over the range from zero volts to about the normal level of the supply voltage, depending on the relative positions of the observation point, short circuit and sources of generation.

The duration can be altered to some extent, since it is largely determined by the speed with which short circuits are cleared. However, a necessary feature of short circuit protection is the graduation of the operating times of switches, relays, etc. at different points on the network to ensure that each short circuit is cleared at the most appropriate point. This means that the clearance time and, consequently, the duration of voltage dips and short interruptions depend on the position of the short circuit. (If the causative event is other than a short circuit, the duration depends on the event concerned.)

Thus, there is limited scope for emission limitation in terms of the *level* of the disturbance. (There may be some scope in particular cases to influence the *frequency* with which dips and short interruptions occur, by taking action to reduce the exposure of a network to fault.) Therefore it is necessary to consider whether it is possible to provide immunity in equipment that is exposed to voltage dips and short interruptions.

En ce qui concerne les creux de tension qui sont modérés en profondeur et en durée, plusieurs équipements peuvent avoir un certain niveau d'immunité inhérente, par exemple en vertu de leur capacité de stockage d'inertie ou d'énergie. Alternativement, il peut être possible de faire des ajustements de conception de sorte que cette propriété soit fournie.

Cependant, pour les coupures brèves et les creux de tension les plus sévères, une immunité n'est pas, dans son sens strict, un concept réalisable. Le caractère essentiel de l'événement est qu'il implique une cessation complète ou une diminution importante de l'approvisionnement en énergie pour un bref intervalle. Aucun dispositif électrique ne peut continuer à fonctionner comme prévu en l'absence de son approvisionnement en énergie.

Par conséquent, une telle immunité à pourvoir contre ces perturbations aura tendance à être extrinsèque – il s'agit soit de prévoir la restauration rapide de l'énergie par une source alternative soit de s'arranger pour que l'équipement et son processus associé s'adaptent d'une façon prévue à la coupure brève ou à la diminution de la puissance.

- Quelques mesures réparatrices emploient une capacité de stockage d'énergie pour fournir pendant un temps limité, l'énergie qui est absente du réseau d'alimentation. Ceci peut pallier des creux de tension de n'importe quelle tension résiduelle et même des coupures brèves. L'aptitude de l'équipement à traverser des creux de tension et des coupures brèves dans un certain laps de temps dépend du rapport entre l'énergie stockée et la demande de puissance du processus concerné. Dans beaucoup de cas, un certain temps de réaction doit être pris en considération (plusieurs millisecondes). Puisque le stockage de l'énergie est très coûteux, la protection d'un processus tend à être orientée vers les parties qui sont particulièrement sensibles.
- D'autres mesures réparatrices, n'ayant aucune capacité de stockage d'énergie, ne peuvent pas suppléer aux interruptions d'approvisionnement mais ont la capacité de compenser les creux de tension d'une tension résiduelle d'environ 50 %. Elles diffèrent quant aux niveaux de la réduction de tension qu'elles peuvent traverser. D'une façon générale, la durée du creux n'est pas un paramètre important dans ces méthodes. La suppression de la source d'énergie a comme conséquence des coûts qui sont en général inférieurs.

Les exemples ci-dessous sont donnés pour une information plus complète sur les phénomènes de perturbation des creux de tension et des coupures brèves. L'atténuation en tant que telle, est en dehors du domaine d'application de ce rapport technique. Elle doit être approchée sur la base de l'analyse tant économique et que technique, comme cela est exprimé dans l'IEEE 1346-1998 [5].

5.2 Quelques exemples des mesures réparatrices

5.2.1 Machine rotative avec inertie additionnelle

Une méthode simple pour traverser les creux de tension et les coupures brèves pour les équipements rotatifs est d'augmenter leur inertie. Cependant, l'utilisation de cette méthode est limitée aux applications spéciales par exemple en métallurgie où elle est souvent employée en complément pour atténuer les brusques variations de charges. Les possibilités d'une telle configuration dépendent du rapport entre l'inertie et la charge réelle, mais sont typiquement dans la gamme de plusieurs secondes.

5.2.2 Machine rotative avec volant et moteur ou système d'alimentation de secours

Une grosse masse associée à un moteur/générateur tourne à très haute vitesse sous vide et accumule de l'énergie jusqu'à plusieurs mégawatt-seconde. L'énergie est fournie au système par l'intermédiaire d'un convertisseur. La puissance disponible typique atteint jusqu'à plusieurs centaines de kilowatts.

With regard to voltage dips that are moderate in depth and duration, some equipment can have a certain level of inherent immunity, for example by virtue of its inertia or energy storage capacity. Alternatively, it may be possible to make design adjustments so that this property is provided.

However, for short interruptions and the more severe voltage dips immunity is not, in its strict sense, a feasible concept. The essential character of the event is that it involves the complete cessation or severe diminution of the energy supply for a brief interval. No electrical device can continue to operate as intended in the absence of its energy supply.

Therefore, such immunity as can be provided from these disturbances tends to be extrinsic – it is a matter of either providing for fast restoration of energy from an alternative source or arranging for the equipment and its associated process to adapt in an intended manner to the brief interruption or diminution of power.

- Some remedial measures use an energy storage capability to supply, for a limited time, the energy that is missing from the system supply. This can compensate for voltage dips of any residual voltage and even short interruptions. The capability of equipment to ride through voltage dips and interruptions over a certain time depends on the relationship between the energy stored and the power requirement of the process concerned. In many cases, a certain reaction time must be taken into account (several milliseconds). Since the storage of energy is very costly, the protection of a process tends to be directed at parts that are especially sensitive.
- Other remedial measures, having no energy storage capability, cannot cover supply interruptions but have the ability to compensate voltage dips with a residual voltage down to about 50 %. They differ in the level of voltage reduction that they are able to ride through. Generally, the duration of the dip is not an important parameter in these methods. Omission of the energy source results in costs that are typically lower.

The examples below are provided for more complete information on the disturbance phenomena of voltage dips and short interruptions. Mitigation, as such, is beyond the scope of this technical report. It needs to be approached on the basis of both economic and technical analysis, such as that outlined in IEEE 1346-1998 [5].

5.2 Some examples of remedial measures

5.2.1 Rotating machine with additional inertia

A simple method to ride through voltage dips and short interruptions for rotating equipment is to increase its inertia. However, the use of this method is limited to special applications e.g. in steel works, where it is often used additionally to smooth steep load changes. The capabilities of such a configuration depend on the relationship between inertia and actual load, but are typically in the range of several seconds.

5.2.2 Rotating machine with flywheel and engine or emergency power system

A large mass together with a motor/generator rotates at very high speed in a vacuum and stores energy of up to several megawatt-seconds. The energy is supplied to the system via a converter. The power available typically reaches up to several hundred kilowatts.

5.2.3 Alimentation non interruptible d'énergie (UPS)

Les systèmes non interruptibles d'alimentation d'énergie sont largement répandus pour protéger les équipements sensibles contre des variations de tension et des pannes du circuit d'alimentation. Typiquement, la charge est fournie par l'intermédiaire d'un convertisseur. Du côté courant continu, il est relié à une source d'énergie telle que des batteries. Leur capacité de stockage varie sur un large éventail, selon les exigences spécifiques et est limitée principalement par les coûts de stockage d'énergie. Les applications réelles s'étendent des petites charges BT jusqu'aux charges de plusieurs centaines de kilowatts.

5.2.4 Bobine en supraconducteur emmagasinant de l'énergie (SMES)

La SMES peut avoir une capacité de plusieurs mégawatt-secondes stockée dans une bobine en supraconducteur. Typiquement, il peut compenser des pannes ou des profondeurs de creux de tension de plusieurs centaines de millisecondes pour des charges avec une demande de puissance élevée, selon la conception.

5.2.5 Compensateur statique de puissance réactive (SVC)

Un compensateur statique de puissance réactive consiste généralement en des condensateurs et/ou des circuits passifs de filtres avec une bobine d'inductance en parallèle commandée par thyristor. Il fournit en permanence une puissance réactive réglable (équilibrée ou déséquilibrée) au système, permettant de ce fait l'ajustement de la tension. Typiquement, les SVCs sont reliés au réseau MT et HT avec une puissance nominale allant de plusieurs mégavars (Mvar) jusqu'à plusieurs centaines de mégavars. Principalement, ils permettent la commande de la tension aux grands nœuds dans le réseau de distribution. Ils peuvent être conçus pour compenser des creux de tension, avec des possibilités plutôt limitées dans cette application. En général, les possibilités de régulation de tension d'un SVC sont 10 % – 20 % de la tension du réseau.

5.2.6 Restaurateur dynamique de tension (DVR)

Pendant les creux de tension, les restaurateurs dynamiques de tension ajoutent l'amplitude de tension manquante, équilibrée et déséquilibrée, au moyen d'une électronique de puissance par l'intermédiaire d'un transformateur en série avec la charge. Pour des tensions résiduelles inférieures à 50 %, la tension peut être reconstituée pendant plusieurs millisecondes. Les applications existent pour des charges dans la gamme de plusieurs dizaines de kilowatts (BT) jusqu'à plusieurs dizaines de mégawatts (MT).

5.2.7 Transformateurs ferrorésonants

Les transformateurs ferrorésonants (tension constante) sont parfois employés pour atténuer les creux de tension. Ils sont conçus pour fonctionner dans un état de saturation magnétique afin de maintenir, dans certaines conditions, une tension de sortie constante malgré les variations de la tension d'entrée.

6 Mesure des creux de tension et des coupures brèves

6.1 Conventions adoptées dans la mesure des creux de tension et des coupures brèves

Toutes les valeurs de tension concernant les creux de tension sont des valeurs efficaces comptées sur au moins une demi-période de la fréquence de la tension d'alimentation, 10 ms et $8\frac{1}{3}$ ms pour 50 Hz et 60 Hz respectivement.

NOTE Dans la CEI 61000-4-30², la mesure de base de la tension est considérée être la tension efficace mesurée sur un cycle et régénérée à chaque demi-cycle.

² A publier.

5.2.3 Uninterruptible power supply (UPS)

Uninterruptible power supply systems are widely used to protect sensitive equipment from voltage changes and outages of the supply system. Typically, the load is supplied via a converter. Its d.c. part is connected to an energy source such as batteries. Their storage capability varies over a wide range, depending on the specific requirements, and is limited mainly by the costs of energy storage. Actual applications range from small LV loads up to loads of several hundred kilowatts.

5.2.4 Superconducting magnetic energy storage (SMES)

Superconducting magnetic energy storage can have a capacity of several megawatt-seconds stored in a superconducting reactor. Typically, it can compensate for outages or deep voltage dips of several hundred milliseconds at loads with high power demand, depending on design.

5.2.5 Static var compensator (SVC)

A static var compensator consists typically of capacitors and/or passive filter circuits with a thyristor controlled reactor in parallel, and supplies continuously adjustable reactive power (balanced or unbalanced) to the system, thereby enabling adjustment of the voltage. Typically, SVCs are connected to the MV or HV system, with a rating from several megavars (Mvar) up to several hundred megavars. Mainly, they enable control of the voltage at large nodes in the distribution system, but they can be designed to compensate for voltage dips, with a rather limited capability in that application. The typical voltage regulating capability of an SVC is 10 % – 20 % of the system voltage.

5.2.6 Dynamic voltage restorer (DVR)

During voltage dips, dynamic voltage restorers add the missing voltage magnitude, both balanced and unbalanced, by means of power electronics via a transformer in series with the load. For residual voltages down to 50 %, the voltage can be restored within several milliseconds. Applications exist for loads in the range of several tens of kilowatts (LV) up to several tens of megawatts (MV).

5.2.7 Ferroresonant transformers

Ferroresonant (constant voltage) transformers are sometimes used to mitigate voltage dips. They are designed to operate in a state of magnetic saturation in order to maintain, under certain conditions, a constant output voltage despite variations in the input voltage.

6 Measurement of voltage dips and short interruptions

6.1 Conventions adopted in the measurement of voltage dips and short interruptions

All voltage values relating to voltage dips are r.m.s. values, taken over a minimum of one half of the period of the voltage at the supply frequency, 10 ms and $8\frac{1}{3}$ ms for 50 Hz and 60 Hz, respectively.

NOTE In IEC 61000-4-30², the basic voltage measurement is considered to be the r.m.s. voltage measured over one cycle and refreshed each half cycle.

² To be published.

Une dimension importante du creux de tension est son amplitude en termes de tension. Celle-ci a été exprimée à la fois comme valeur à laquelle la tension est diminuée pendant l'événement et aussi comme la quantité de laquelle la valeur de la tension est moindre par rapport à la tension préexistante ou à une autre valeur de référence. Dans ce rapport technique, lorsqu'on quantifie cette dimension des creux de tension, la première convention est adoptée, et le terme utilisé est la tension résiduelle.

La mesure des creux de tension implique d'enregistrer la valeur de la tension pendant le creux, la durée de l'événement, et le nombre d'événements au cours de la période de mesure. Les deux dernières quantités sont enregistrées pour les coupures brèves. Afin d'enregistrer ces valeurs et permettre aux résultats d'être comparés, il est nécessaire d'adopter certaines conventions plutôt arbitraires.

Les paragraphes qui suivent décrivent les conventions qui ont été employées ou considérées dans diverses enquêtes de creux de tension, sans recommander une pratique particulière.

6.1.1 Tension de référence pour la mesure

6.1.1.1 Tension fixe de référence

La tension résiduelle dans un creux de tension est habituellement exprimée en termes relatifs, en pourcentage ou par unité. La base de la relation est par convention la tension nominale ou la tension déclarée du réseau au point d'observation. C'est particulièrement approprié lorsqu'on s'intéresse à l'effet possible sur les équipements en marche. Ainsi, la tension de référence pour des mesures sur des réseaux basse et moyenne tension est habituellement la tension nominale ou la tension déclarée du réseau concerné.

6.1.1.2 Tension de référence glissante

Une approche différente peut être appropriée quand, à différents points sur le réseau qui probablement opère à différentes tensions, le sujet de la recherche inclut une comparaison entre les creux de tension résultant d'un court-circuit unique. C'est souvent le cas quand des mesures sont relevées sur des réseaux de tension plus élevée. En outre, il est utile de savoir comment les mesures sur les réseaux à haute tension correspondent aux creux subis par les équipements en marche dont la plupart sont raccordés aux réseaux basse et moyenne tension.

La gamme normale de tension dans les réseaux à haute tension peut être plus librement variable que ce n'est le cas dans les réseaux basse et moyenne tensions. Ceux-ci n'ont qu'une composante de régime de fonctionnement en relation, par exemple, avec la plage des plots des transformateurs. Un événement qui provoque une profondeur donnée de creux de tension mesurée dans un réseau à haute tension est susceptible d'avoir comme conséquence une grande variété de tensions résiduelles à différents points d'observation dans des réseaux de plus basse tension, même s'ils sont directement en aval. Cela s'explique parce que les tensions précédant le creux aux différents points changeront selon la disposition des plots et des raccordements sur les transformateurs en jeu.

Avec ces conditions le creux de tension peut être mesuré relativement à la tension qui précède, pour permettre à la variation de la tension d'être enregistrée. Dans ce cas, afin de représenter la tension précédant le début du creux de tension, la tension de référence est une valeur qui est calculée sans interruption pendant un certain intervalle, beaucoup plus long que la durée du creux de tension. Elle est alors mentionnée comme une tension de référence glissante.

Quand une tension de référence glissante est employée, il est nécessaire de tenir compte du fait que la valeur qui est critique pour les équipements en marche, est souvent une valeur absolue de la tension. Par exemple, supposant que le niveau de tension précédant le creux est dans la gamme $0,9U_n - 1,1U_n$ à un point particulier, une réduction de tension de r par unité, relativement à une valeur de référence glissante, peut signifier une tension résiduelle réelle allant de $0,9.r.U_n$ à $1,1.r.U_n$ (U_n = tension nominale). Ce n'est pas nécessairement suffisamment précis pour évaluer l'effet sur l'équipement.

An important dimension of a voltage dip is its magnitude in voltage terms. This has been expressed both as the value to which the voltage is depressed during the event and the amount by which that value is less than the pre-existing voltage or other reference value. In this technical report the former convention is adopted in quantifying that dimension of voltage dips, and the term used is the “residual voltage”.

The measurement of voltage dips involves recording the value of the voltage during the dip, the duration of the event, and number of events within the measurement period. The latter two quantities are recorded for short interruptions. In order to record these values and to enable results to be compared, it is necessary to adopt certain rather arbitrary conventions.

The sections that follow describe the conventions that have been used or considered in various voltage dip surveys, without recommending any particular practice.

6.1.1 Reference voltage for measurement purposes

6.1.1.1 Fixed reference voltage

The residual voltage in a voltage dip is usually expressed in relative terms, per cent or per unit. The basis of the relationship is conventionally the nominal or declared system voltage at the observation point. This is especially relevant when the matter of interest is the possible effect on utilisation equipment. Thus, the reference voltage for measurements on low and medium voltage networks is usually the nominal or declared voltage of the network concerned.

6.1.1.2 Sliding reference voltage

A different approach can be appropriate when the subject of investigation includes a comparison between voltage dips at different points on the network, possibly operating at different voltages, resulting from a single short circuit event. This is often the case when measurements are taken on higher voltage networks. Moreover, it is useful to know how measurements on high voltage networks correspond to the dips as experienced by utilisation equipment, most of which is connected to low or medium voltage networks.

The normal voltage range on high voltage networks can be more freely variable than is the case on low or medium voltage networks, being only one component of the operating regime for the network, along with, for example, transformer tapping range. An event which gives rise to a given depth of voltage dip measured on a high voltage network is likely to result in a great variety of residual voltages at different observation points on lower voltage networks, even if they are directly downstream. This is because the voltages preceding the dip at the different points will vary according to the disposition of taps and connections on intervening transformers.

In these conditions the voltage dip can be measured relative to the preceding voltage, to enable the change of voltage to be recorded. In this case, in order to represent the voltage preceding the onset of the voltage dip, the reference voltage is a value that is continuously calculated over a certain interval, much longer than the duration of a voltage dip. It is then referred to as a sliding reference voltage.

When a sliding reference voltage is used, it is necessary to take account of the fact that the value that is critical for utilisation equipment is often an absolute voltage value. For example, assuming that the voltage level preceding the dip is in the range $0,9U_n - 1,1U_n$ at a particular point, a voltage reduction of r per unit, relative to a sliding reference value, can mean an actual residual voltage as low as $0,9.r.U_n$ or as high as $1,1.r.U_n$ (U_n = nominal voltage). This is not necessarily sufficiently precise for assessing the effect on equipment.

6.1.2 Durée du creux: seuils de tension marquant le début et la fin

Le choix des seuils de tension pour marquer le début et la fin d'un creux de tension, dépend de la tension de référence, à savoir s'il s'agit d'une valeur glissante représentant la tension juste avant ou une valeur fixe telle que la tension nominale ou la tension déclarée. Le cas d'une tension fixe de référence est traité en premier lieu.

A n'importe quel point donné d'observation sur le réseau d'approvisionnement, la tension change constamment en réponse aux variations et aux commutations incessantes des charges à de divers points sur le réseau. Habituellement, le réseau est conçu pour maintenir ces variations de tension dans une certaine bande, au moins lorsqu'on est en conditions normales de fourniture. A l'intérieur des oscillations constantes de la tension dans la bande prévue de la variation, les changements de tension du type défini comme creux de tension surgissent en cas d'un court-circuit ou d'une montée subite équivalente du courant. En pareil événement, les tensions qui en résultent, peuvent avoir n'importe quelle valeur entre 0 % et 100 % de la tension préexistante, selon les endroits de l'observation relativement à l'endroit de l'événement en cause.

Par conséquent, à certains points d'observation qui sont plutôt éloignés de l'emplacement de l'événement en cause, particulièrement les points où la tension préexistante est proche du dessus de la bande prévue de la variation de tension, la tension résiduelle peut demeurer suffisamment élevée pour qu'elle soit toujours dans cette bande. Dans les mesures à un tel endroit, la tension résiduelle, étant dans la marge prévue, ne doit pas être distinguée des variations de tension résultant des fluctuations normales de la charge locale. Par convention, elle est exclue lorsqu'on mesure les creux.

Pour cette raison, beaucoup de mesures de creux de tension ont été basées sur un seuil de tension correspondant à la limite inférieure de la bande prévue de la variation. Seulement les événements dans lesquels la tension tombe à une valeur au-dessous de ce seuil sont enregistrés en tant que creux. Chaque creux de tension est compté comme commençant à l'instant où la tension tombe au-dessous du seuil et finit à l'instant où la tension récupère au moins cette valeur.

Cependant, dans le cas d'un point d'observation dont la tension, à un moment donné, s'avère justement être près du fond de la bande prévue de la variation, il est probable que les variations et les commutations normales de la charge aient comme conséquence de petites oscillations de tension autour de la limite inférieure de la bande. (On considère que la bande normale de la variation s'applique à la tension moyenne pendant un intervalle court, tel que 10 min – par conséquent la tension dans cet intervalle a des valeurs au-dessous et au-dessus de la moyenne.) Le nombre de creux de tension enregistré à un tel point d'observation pourrait être considérablement gonflé par ces oscillations de tension induites par la charge, si le seuil était fixé comme ci-dessus.

Une méthode pour exclure ces variations est d'appliquer une autre marge au-dessous de la bande normale de la variation de tension. Dans cette approche, un événement observé est enregistré comme un creux de tension seulement quand la tension résiduelle tombe au-dessous d'un seuil qui est placé à une marge indiquée au-dessous de la bande prévue de la variation de tension. En enregistrant la durée du creux de tension, les deux instants auxquels la tension coupe ce seuil marquent le début et la fin de l'événement.

Une méthode alternative, utilisant deux seuils, a été également employée pour exclure les oscillations de tension induites par la charge, proche du fond de la bande prévue de la variation de tension. Ceci classifie comme creux de tension seulement les événements pour lesquels la tension qui est tombée au-dessous d'un seuil correspondant au fond de la bande, atteint un deuxième seuil qui est placé à une légère marge (typiquement 1 % de la tension de référence) au-dessus du premier seuil (Par analogie, le terme «hystérésis» a été appliqué à la marge entre les deux seuils.)

6.1.2 Dip duration: Voltage thresholds marking start and end

The selection of voltage thresholds to mark the start and end of a voltage dip depends on whether the reference voltage is a sliding value representing the immediately preceding voltage or a fixed value such as the nominal or declared voltage. The case of a fixed reference voltage is taken first.

At any given observation point on the supply network, the voltage is constantly varying in response to the incessant variations and switchings of loads at various points on the network. Usually, the network is designed to maintain these voltage variations within a certain band, at least under normal supply conditions. In the midst of this constant movement of the voltage within the intended band of variation, voltage changes of the type defined as voltage dips arise in the event of a short circuit or equivalent surge of current. In such an event, the voltages resulting from it can have any value between 0 % and 100 % of the pre-existing voltage, depending on the locations of the observation points relative to the location of the causative event.

Therefore, at some observation points that are rather remote from the site of the causative event, especially those at which the pre-existing voltage is near the top of the intended band of voltage variation, the residual voltage can remain high enough to still be within that band. In measurements at such a point, this residual voltage, being within the intended range, does not need to be distinguished from the voltage variations arising from normal fluctuations of the local load. By convention, it is excluded for the purposes of dip measurement.

For this reason, many voltage dip measurements have been based on a voltage threshold corresponding to the lower limit of the intended band of variation. Only events in which the voltage falls to a value below this threshold are recorded as dips. Each voltage dip is reckoned as starting at the instant at which the voltage falls below the threshold and ending at the instant at which the voltage recovers at least to that value.

However, in the case of an observation point at which the voltage, at a given time, happens to be near the bottom of the intended band of variation, it is likely that the normal variations and switchings of load will result in small voltage oscillations about the lower limit of the band. (The normal band of variation is considered as applying to the average voltage over a short interval, such as 10 min – therefore the voltage within this interval has values both below and above the average.) The recorded number of voltage dips at such an observation point could be greatly inflated by these load-induced voltage variations, if the threshold were set as above.

One method of excluding these variations is to apply a further margin below the normal band of voltage variation. In this approach, an observed event is recorded as a voltage dip only when the residual voltage falls below a threshold that is set at a specified margin below the intended band of voltage variation. In recording the duration of the voltage dip, the two instants at which the voltage crosses that threshold mark the start and end of the event.

An alternative method, using two thresholds, has also been used to exclude load-induced voltage oscillations near the bottom of the intended band of variation. This classifies as voltage dips only those events in which the voltage, having fallen below a threshold corresponding to the bottom of the band, recovers to a second threshold that is set at a slight margin (typically 1 % of the reference voltage) above the first threshold. (By analogy, the term “hysteresis” has been applied to the margin between the two thresholds.)

Au début du développement de cette approche, le deuxième seuil était employé seulement afin de classer un événement comme creux de tension – une fois ainsi l'événement classifié, le premier seuil était employé pour marquer son début et sa fin. En variante de cette approche, une pratique s'est développée visant à adopter le deuxième seuil, décrit ci-dessus, en tant que repérage de la fin du creux de tension observé, s'est développée.

Pour récapituler, pour le cas d'une tension de référence fixée, les dispositions possibles pour les seuils de début et de fin sont comme suit:

- le seuil de début est réglé soit à la limite inférieure de la bande de la variation normale de tension soit à une marge spécifiée au-dessous de cette limite;
- le seuil de fin est réglé à la même valeur que le seuil de début ou à une petite marge au-dessus d'elle (hystérésis).

Quand la tension de référence est une valeur glissante, calculée sans interruption pour représenter le niveau de tension juste avant le creux, ce processus a un effet de lissage qui élimine automatiquement la plupart des variations dues aux fluctuations locales de charge. Dans ce cas-ci, donc, les seuils de début et de fin peuvent être choisis à une valeur tout à fait proche de la tension de référence glissante.

Au cas où la tension aurait une tendance à décroître, indépendamment d'un creux, la valeur que la tension retrouve à la fin du creux, est quelque peu moindre que la valeur précédant immédiatement l'événement. Par conséquent, afin de s'assurer que la fin du creux est identifiée, il peut être nécessaire de placer le seuil de fin à une valeur légèrement inférieure à la valeur de référence, par exemple 99 % de la tension de référence glissante. Pour l'uniformité, le seuil de début peut être placé à la même valeur.

Dans le cas de mesure sur plusieurs phases, les creux de tension dont les durées se recouvrent dans le temps ont été par convention comptés comme événement simple. Dans certains cas, la pratique a été de compter la durée depuis l'instant où la première tension simple ou composée tombe au-dessous du seuil de début jusqu'à l'instant où la dernière tension simple ou composée dépasse le seuil de fin.

6.1.3 Distinction entre les creux de tension et les coupures brèves

La notion même d'une coupure implique la déconnexion complète de toutes les sources d'alimentation et en conséquence une tension nulle. Dans la pratique, cependant, la partie débranchée du réseau peut inclure des sources significatives d'énergie stockée, empêchant d'atteindre la tension nulle pendant une coupure brève. En outre, théoriquement la plupart des creux de tension sévères impliquent une tension nulle. Un tel creux de tension est, en fait, une coupure, bien qu'un raccordement à la source de tension demeure. Ainsi, il peut y avoir une difficulté pour l'instrument de mesure de faire la distinction entre des coupures brèves et des creux de tension.

Pour cette raison, dans les mesures des creux de tension et des coupures brèves, il est nécessaire d'adopter une tension frontière, plus grande que zéro, afin de distinguer ces phénomènes. Un événement dans lequel la tension résiduelle tombe au-dessous de la valeur frontière adoptée est classifié comme coupure brève, autrement c'est un creux de tension.

En conséquence, un court-circuit donné peut avoir comme conséquence des creux de tension et des coupures brèves à différents points d'observation, selon que la tension résiduelle observée à chacun des points est au-dessus ou au-dessous du niveau choisi par convention comme frontière.

6.2 Mesure des creux de tension

Bien que les creux de tension soient souvent complexes dans leur forme, une approche simplifiée a été adoptée dans les campagnes pour lesquelles des mesures de creux de tension sont effectuées à plusieurs emplacements afin d'obtenir des données statistiques.

In the original development of this approach the second threshold was used only for the purpose of classifying an event as a voltage dip – given an event that was so classified, the first threshold was used to mark both its start and end. As a variation on this approach, a practice developed of adopting the second threshold, just described, as marking the end of the observed voltage dip.

To summarise, for the case of a fixed reference voltage the possible settings for the start and end thresholds are as follows:

- start threshold set at either the lower limit of the bandwidth of normal voltage variation or a value at a specified margin below that limit;
- end threshold set at the same value as the start threshold or at a small margin above it (hysteresis).

When the reference voltage is a sliding value, calculated continuously to represent the voltage level immediately before the dip, this process has a smoothing effect which automatically eliminates most of the variations due to local load fluctuations. In this case, therefore, the start and end thresholds can be selected at a value quite close to the sliding reference voltage.

In the event that there is a downward trend in the voltage, independent of the dip, the value to which the voltage recovers at the end of the dip is somewhat less than the value immediately before the event. Therefore, in order to ensure that the end of the dip is recognised, it may be necessary to set the end threshold at a value slightly below the reference value, e.g. 99 % of the sliding reference voltage. For uniformity, the start threshold can be set at the same value.

In the case of multi-phase measurements, voltage dips whose durations overlap in time have conventionally been counted as a single event. In some cases the practice has been to measure the duration from the instant at which the first phase or line voltage falls below the start threshold to the instant at which the last phase or line voltage rises to or above the end threshold.

6.1.3 Distinguishing between voltage dips and short interruptions

Notionally, an interruption implies complete disconnection from all sources of supply and, therefore, zero voltage. In practice, however, the disconnected portion of network can include significant sources of stored energy, preventing the voltage from reaching zero during a very short interruption. Furthermore, the theoretically most severe voltage dip implies zero voltage. Such a voltage dip is, effectively, an interruption, although a connection to the voltage source remains. Thus, there can be a difficulty for the measuring instrument in distinguishing short interruptions from voltage dips.

For this reason, in measuring voltage dips and short interruptions, it is necessary to adopt a boundary voltage, greater than zero, in order to distinguish between these phenomena. An event in which the residual voltage falls below the adopted boundary value is classified as a short interruption; otherwise it is a voltage dip.

As a result, a given short circuit can result in both voltage dips and short interruptions at different observation points, depending on whether the residual voltage observed at each such point is above or below the conventionally selected boundary level.

6.2 Measurement of voltage dips

Although voltage dips are often complex in shape, a simplified approach has been taken in campaigns in which voltage dip measurements are taken at several sites in order to obtain statistical data. The approach has been to treat dips as if they are all simple single depth

L'approche a été de traiter les creux comme s'ils étaient tous des événements à profondeur unique. Un seul couple de données est enregistré pour chaque creux. La tension résiduelle est la plus basse tension se produisant pendant l'événement. La durée est mesurée à partir de l'instant où la tension tombe au-dessous du seuil de début jusqu'à celui où elle devient égale ou plus grande que le seuil de fin. Ces seuils sont placés comme décrit ci-dessus.

Quelques événements mesurés, cependant, s'avèrent plus complexes, avec la tension qui prend plusieurs niveaux pendant le déroulement de l'événement, probablement avec la chute de tension, son élévation ou les deux qui s'étendent pendant un intervalle appréciable dans la durée du creux. En ce cas, caractériser le creux comme ayant une tension résiduelle équivalente à la tension la plus basse tension atteinte et une durée correspondant aux seuils de début et de fin, peut être une exagération sérieuse de l'importance de la perturbation.

Afin de traiter la complexité des creux non rectangulaires, il serait possible d'indiquer plusieurs gradations sur l'échelle de tension et d'enregistrer la durée pour laquelle la tension est égale ou au-dessous de chacune des gradations. Ceci aurait comme conséquence l'enregistrement de plusieurs couples de données tension résiduelle-durée pour décrire chaque creux de tension.

Cependant, cette approche n'a été employée dans aucune des campagnes de mesure dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

Dans certains cas le but de la mesure des creux de tension à un emplacement spécifique est de surveiller si les conditions d'un contrat fournisseur-utilisateur sont respectées ou si des conditions critiques à une machine ou à un processus particulier sont dépassées. Dans ces cas, il est probable qu'il y ait un seuil particulier de tension qui est le centre de l'attention, soit qu'il est spécifié dans le contrat ou soit que c'est la valeur critique pour la machine ou le processus impliqué. Le début et la fin du creux réel et de sa profondeur ultime peuvent tous être non pertinents. Il n'y a aucun enregistrement pris à moins que la tension ne tombe au-dessous du seuil spécifié. Quand il en est ainsi, la seule information requise est la durée pendant laquelle elle demeure égale ou au-dessous de cette valeur.

6.3 Mesure des coupures brèves

Les coupures brèves sont mesurées de la même manière que le creux de tension. On choisit une tension frontière au-dessous de laquelle l'événement est considéré être une coupure brève. Cette frontière était dans le passé différemment placée à 1 %, à 5 % et à 10 % de la tension de référence.

Quand ces mesures font partie de la campagne visée ci-dessus, la tension frontière est employée pour seulement identifier un événement comme soit un creux de tension soit une coupure brève. Cependant, la durée de la coupure brève est basée sur les mêmes seuils de début et de fin, utilisés pour le creux de tension. Dans le cas d'un événement non rectangulaire, ceci exagère la durée de la coupure brève.

6.4 Classification des résultats de mesure

En rassemblant ou en présentant les résultats d'une campagne de mesure pour des creux de tension et coupures brèves, il est nécessaire de respecter la nature bidimensionnelle du phénomène. Ceci suggère une matrice bidimensionnelle ou une approche tabulaire, avec les rangées contenant la classification des profondeurs ou des tensions résiduelles, et les colonnes contenant les classifications de durée.

6.4.1 Résultats basés sur l'hypothèse d'une forme rectangulaire

Le Tableau 2 montre la tabulation développée par l'UNIPED. Pour un site de mesure donné, chaque cellule est prévue pour contenir le nombre de creux de tension de la profondeur et de la durée correspondantes se produisant au cours d'une période spécifiée, habituellement un an.

events. A single data pair is recorded for each dip. The residual voltage is the lowest voltage occurring during the event. The duration is measured from the instant at which the voltage falls below the start threshold to that at which it becomes equal to or greater than the end threshold. These thresholds are set as described above.

Some measured events, however, are found to be more complex, with the voltage taking several levels during the course of the event, possibly with the voltage fall, rise or both being extended over an appreciable interval within the duration of the dip. In such a case, to characterise the dip as having a residual voltage equivalent to the lowest voltage reached and a duration corresponding to the start and end thresholds can be a serious overstatement of the magnitude of the disturbance.

In order to deal with the complexity of non-rectangular dips it would be possible to designate several gradations on the voltage scale and to record the duration for which the voltage is at or below each such mark. This would result in the recording of several residual voltage-duration pairs of data to describe each voltage dip.

However, this approach has not been used in any of the measurement campaigns whose results are presented in this report.

In some cases the purpose of voltage dip measurement at a specific site is to monitor whether the terms of a supplier-user contract are being fulfilled or whether conditions critical to a particular machine or process are being breached. In such cases it is likely that there is a particular voltage threshold which is the focus of attention, either because it is specified in the contract or because it is the value that is critical for the machine or process involved. The start and end of the actual dip and its ultimate depth may all be irrelevant. There is no record taken unless the voltage falls below the specified threshold. When it does so, the only information required is the duration for which it remains at or below that value.

6.3 Measurement of short interruptions

Short interruptions are measured in the same way as voltage dips. A voltage boundary is selected below which the event is designated a short interruption. This boundary has in the past been variously set at 1 %, 5 % and 10 % of the reference voltage.

When these measurements are part of the campaign referred to above, the boundary voltage is used only to identify an event as either a voltage dip or short interruptions. However, the duration of the short interruption is based on the same start and end thresholds used for voltage dips. In the case of a non-rectangular event, this overstates the duration of the short interruption.

6.4 Classification of measurement results

In collecting or presenting the results of a measurement campaign for voltage dips and short interruptions, it is necessary to have regard to the two dimensional nature of the phenomenon. This suggests a two dimensional matrix or tabular approach, with the rows containing the classification of depths or residual voltages, and the columns containing the duration classifications.

6.4.1 Results based on the assumption of rectangular shape

Table 2 shows the tabulation developed by UNIPÉDE. For a given measurement site, each cell is intended to contain the number of voltage dips of the corresponding depth and duration occurring within a specified period, usually one year.

La dernière rangée représente les coupures brèves. (Dans les premières mesures, une tension de 1 % de la tension de référence a été employée comme frontière entre le creux de tension et les coupures brèves.)

Tableau 2 – Classification des résultats de mesure

Tension résiduelle u % de $U_{\text{réf}}$	Durée s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$								
$85 > u \geq 70$								
$70 > u \geq 40$								
$40 > u \geq 10$								
$10 > u \geq 0$								
NOTE 1 Les résultats de mesure dans la première colonne et la première rangée sont susceptibles d'être gonflés par des transitoires et des fluctuations de charge, respectivement.								
NOTE 2 0,01 et 0,02 s dans les deux premiers titres de durée correspondent à une demi-période et à une période de la tension en 50 Hz. Pour des réseaux de 60 Hz, des valeurs correspondantes seraient employées.								

Un tableau semblable est employé pour compiler les résultats de tous les sites dans la campagne de mesure. Dans ce cas-ci chaque cellule peut contenir:

- un percentile (typiquement 95^e) du nombre de creux enregistrés en cette cellule pour tous les sites;
- le nombre maximal enregistré dans la cellule;
- le nombre moyen pour la cellule pour tous les sites;
- ou toute autre statistique.

Quand plusieurs types de réseaux sont impliqués, il est approprié de produire un tableau séparé pour chaque type. Par exemple, il convient que les réseaux aériens soient distingués des réseaux souterrains.

6.4.2 Résultats tenant compte de la forme complexe du creux

Un tableau semblable pourrait être employé pour rassembler les résultats des mesures quand plusieurs couples de profondeur-durée sont enregistrés pour chaque creux de tension. Chaque creux aurait alors plusieurs entrées dans le tableau, une pour chacune des gradations indiquées sur l'échelle de tension. Il serait nécessaire de fournir une colonne additionnelle dans le tableau pour prévoir la durée nulle. Les rangées correspondraient aux gradations choisies de la tension. Dans une campagne de mesure multi-site, les résultats de tous les sites pourraient être consolidés dans un tableau unique comme décrit ci-dessus pour le cas d'une forme simple de creux. Chaque cellule contiendrait une statistique spécifiée calculée à partir des résultats de la mesure complète.

Pour autant qu'on le sache, cette approche plutôt complexe n'est pas employée dans la pratique.

6.5 Regroupement des résultats de mesure

Les opérations de réenclenchement peuvent avoir comme conséquence des creux de tension ou des coupures multiples venant d'un même événement primaire en cause. De telles perturbations réitérées sont peu susceptibles d'affecter à répétition l'équipement et les processus. Il peut donc être fallacieux de compter ces perturbations en tant qu'événements séparés.

The last row represents short interruptions. (In earlier measurements a voltage of 1 % of the reference voltage was used as the boundary between voltage dips and short interruptions.)

Table 2 – Classification of measurement results

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$								
$85 > u \geq 70$								
$70 > u \geq 40$								
$40 > u \geq 10$								
$10 > u \geq 0$								
NOTE 1 Measurement results in the first column and first row are likely to be inflated by transients and load fluctuations, respectively.								
NOTE 2 0,01 and 0,02 s in the first two duration headings correspond to a half period and to one period of the 50 Hz voltage. For 60 Hz systems corresponding values would be used.								

A similar table is used to compile the results from all the sites in the measurement campaign. In this case each cell can contain:

- a percentile (typically 95th) of the number of dips recorded in that cell for all sites;
- the maximum number recorded in the cell;
- the average number for the cell for all sites;
- or other statistic.

When several types of network are involved, it is appropriate to produce a separate table for each type. For example, overhead networks should be distinguished from underground networks.

6.4.2 Results allowing for complex dip shapes

A similar table could be used to collect the results of measurements when several depth-duration pairs are recorded for each voltage dip. Each dip would then have several entries on the table, one for each of the designated gradations on the voltage scale. It would be necessary to provide an additional column in the table to provide for zero duration. The rows would correspond to the selected gradations of the voltage. In a multi-site measurement campaign, the results from all the sites could be consolidated into a single table as described above for the case of a simple dip shape, with each cell containing a specified statistic calculated from the complete measurement results.

As far as is known, this rather complex approach has not been used in practice.

6.5 Aggregation of measurement results

Reclosing operations can result in multiple voltage dips or interruptions from the same primary causative event. Such repetitive disturbances are unlikely to affect equipment and processes multiple times. It can therefore be misleading to count these disturbances as separate events.

Pour tenir compte de cet effet, le concept du regroupement peut être appliqué pour des analyses statistiques et des rapports envers un régulateur ou un client. Il convient d'appliquer un ensemble de règles qui définissent comment grouper des événements se produisant dans un intervalle de temps limité et caractériser l'événement équivalent résultant en termes d'amplitude et de durée.

Par exemple, tous les événements dans un intervalle de 1 min peuvent être comptés en tant qu'un événement simple dont amplitude et la durée sont ceux du creux le plus sévère observé pendant cet intervalle.

Il faut noter que le choix de la méthode de regroupement peut avoir un impact significatif sur le nombre et les caractéristiques d'événements enregistrés. En outre, les événements équivalents résultants ne reflètent pas nécessairement avec exactitude l'impact sur l'équipement et les processus.

7 Résultats de mesure disponibles

Quelques résultats sont présentés ci-dessous, dans le format dans lequel ils ont été fournis à la CEI.

7.1 Statistiques d'UNIPED

Neuf pays d'Europe ont coopéré à la campagne de mesure de l'UNIPED DISDIP [8] pour déterminer le nombre de creux de tension et de coupures brèves subis en un an par les utilisateurs de l'électricité raccordés aux réseaux BT et MT.

Les mesures ont été effectuées sur des réseaux BT aussi proches que possible des jeux de barres BT des sous-stations de MT/BT ou sur les lignes MT auxquelles des sous-stations MT/BT sont directement connectées. Là où la mesure a été effectuée au travers d'un transformateur de tension, la correction nécessaire a été appliquée pour représenter la tension phase-neutre vue par des utilisateurs de BT.

Le but était de refléter le large éventail des conditions environnementales et géographiques rencontrées dans plusieurs pays avec différents climats et configurations de réseau. Les résultats ont été produits pour 85 sites de mesure, avec une période de mesure étant au moins d'une année dans presque tous les cas.

Les seuils adoptés ont été 90 % de la tension nominale pour le début et la fin du creux de tension, avec des durées allant de 10 ms à 1 min. Pour les coupures brèves, le seuil de tension était 0 %, correspondant à la dernière rangée dans les Tableaux 3 à 8.

Des 85 sites de mesure, 33 se trouvaient sur des réseaux souterrains et les 52 restants étaient sur des réseaux mixtes avec des proportions variables de lignes aériennes et de câbles souterrains.

Les Tableaux 3, 4 et 5 présentent les résultats pour les réseaux souterrains.

Le Tableau 3 montre le nombre maximal d'événements enregistrés correspondant aux cellules individuelles du tableau. Puisque deux de ces maxima ne se produisent pas nécessairement au même site, l'addition de toutes les cellules du tableau n'a aucune signification. Pour information, toutefois, le total pour le site qui a enregistré le plus grand nombre de creux et de coupures est ajouté au bas du tableau.

Le Tableau 4 donne les moyennes des nombres d'événements se produisant dans chaque cellule. (Dans ce cas-ci le nombre moyen d'événements apparus à tous les sites de mesure, ajouté au bas du tableau, est le même que la moyenne des valeurs des cellules.)

To take account of this effect, the concept of aggregation can be applied for statistical analyses and regulatory or customer reports. It consists in applying a set of rules which define how to group events occurring within a limited interval of time and to characterise the resulting equivalent event in terms of amplitude and duration.

For example, all events within a 1 min interval can be counted as one single event whose amplitude and duration are those of the most severe dip observed during this interval.

It must be noted that the choice of aggregation method can have a significant impact on the number and characteristics of the recorded events. Moreover, the resulting equivalent events do not necessarily reflect exactly the impact on equipment and processes.

7 Available measurement results

Some results are presented below, in the format in which they were provided to IEC.

7.1 UNIPED statistics

Nine countries of Europe co-operated in the UNIPED DISDIP measurement campaign [8] to determine the number of voltage dips and short interruptions per year experienced by electricity users connected to LV and MV networks.

The measurements were carried out either on LV networks as close as possible to the LV busbars of MV/LV substations or on MV lines to which MV/LV substations were directly connected. Where measurement was carried out through a voltage transformer, the necessary correction was applied to represent the phase-neutral voltage experienced by LV users.

The aim was to reflect the wide range of environmental and geographical conditions found in several countries with different climates and network configurations. Results were produced for 85 measurement sites, with the period of measurement being at least a year in almost all cases.

The thresholds adopted were 90 % of the nominal voltage for the start and end of the voltage dip, with durations extending from 10 ms to 1 min. For short interruptions the voltage threshold was 0 %, corresponding to the last row in Tables 3 – 8.

Of the 85 measurement sites, 33 were on underground networks and the remaining 52 were on mixed networks with varying proportions of overhead lines and underground cables.

Tables 3, 4 and 5 present the results for the underground networks.

Table 3 shows the maximum number of events recorded corresponding to the individual cells of the table. Since no two of these maxima necessarily occur at the same site, the summation of all the cells of the table has no meaning. For information, therefore, the number for the site recording the greatest number of dip-interruption events is appended at the end of the table.

Table 4 gives the means of the numbers of events occurring within each cell. (In this case the mean number of events at all measuring sites, appended to the table, is the same as the mean of the cell values.)

Le Tableau 5 contient le nombre maximal des événements en chacune des cellules après avoir écarté 5 % du nombre de valeurs enregistrées comprenant les plus grandes valeurs pour cette cellule. Cela signifie que la valeur dans chaque cellule est le 95^e percentile de la distribution du nombre d'événements dans cette cellule. Le 95^e percentile de tous les événements, creux et coupure, de tous les sites est ajouté au bas du tableau.

Les Tableaux 6, 7 et 8 présentent les valeurs correspondantes pour les réseaux mixtes.

Tableau 3 – Réseaux souterrains: fréquence des creux de tension – maximum

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	63	38	8	1	1	0
$70 > u \geq 40$	8	29	4	0	0	0
$40 > u \geq 0$	6	17	1	3	0	0
$u = 0$ (coupures)	1	1	2	1	1	10

Nombre le plus grand de creux/site: 124

Tableau 4 – Réseaux souterrains: fréquence des creux de tension – moyenne

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	13,4	9,5	0,4	0,2	0,1	0
$70 > u \geq 40$	1,5	5,9	0,3	0	0	0
$40 > u \geq 0$	0,1	1,8	0,2	0,2	0	0
$u = 0$ (coupures)	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,7

Nombre moyen de creux/site: 35

Tableau 5 – Réseaux souterrains: fréquence des creux de tension – 95^e percentile

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	23	19	3	1	0	0
$70 > u \geq 40$	5	19	1	0	0	0
$40 > u \geq 0$	1	8	1	0	0	0
$u = 0$ (coupures)	0	0	1	0	1	1

95^e percentile de creux/site: 63

Tableau 6 – Réseaux mixtes: fréquence des creux de tension – maximum

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	111	99	20	8	3	1
$70 > u \geq 40$	50	59	14	3	1	0
$40 > u \geq 0$	5	26	11	4	1	1
$u = 0$ (coupures)	5	25	104	10	15	24

Nombre le plus grand de creux/site: 306

Tableau 7 – Réseaux mixtes: fréquence des creux de tension – moyenne

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	26,8	27,6	3,4	1,2	0,3	0,02
$70 > u \geq 40$	3,1	15,1	1,3	0,4	0,02	0
$40 > u \geq 0$	0,4	6,5	1	0,4	0,1	0,02
$u = 0$ (coupures)	0,3	3,5	7,4	1,2	1,1	2,1

Nombre moyen de creux/site: 103

Table 8 – Réseaux mixtes: fréquence des creux de tension – 95^e percentile

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t					
	$10 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s
$90 > u \geq 70$	61	68	12	6	1	0
$70 > u \geq 40$	8	38	4	1	0	0
$40 > u \geq 0$	2	20	4	2	1	0
$u = 0$ (coupures)	0	18	26	5	4	9

95^e percentile de creux/site: 256

7.2 Statistiques d'enquête de l'EPRI [9] [10]

Pour cette enquête, des résultats de mesure ont été rassemblés sur une période de deux ans (1993 à 1995) sur les réseaux de distribution MT de 24 compagnies dans l'ensemble des Etats-Unis. Le nombre réel de sites auxquels des contrôles ont été effectués, s'est élevé à 277, sur 95 départs différents. Il y avait très peu de réseaux de câble dans cette enquête.

Dans la plupart des cas, des tensions phase-neutre ont été mesurées en MT. La valeur efficace de la tension a été calculée sur un cycle. Tous les événements au cours d'une période de 1 min ont été classifiés comme un seul creux, caractérisé par la tension minimale sur une des phases et la durée de l'événement a été associée à cette phase.

Des résultats statistiques de la fréquence et de l'amplitude du creux de tension sont illustrés dans les figures suivantes. (Les données concernant la durée des creux de tension n'ont pas été encore publiées.) Les données provenant de chaque emplacement ont été pondérées selon la probabilité que cet emplacement ait été choisi parmi tous les points de mesure possibles.

La Figure 4 représente le nombre de creux et de coupure par emplacement et par 30 jours.

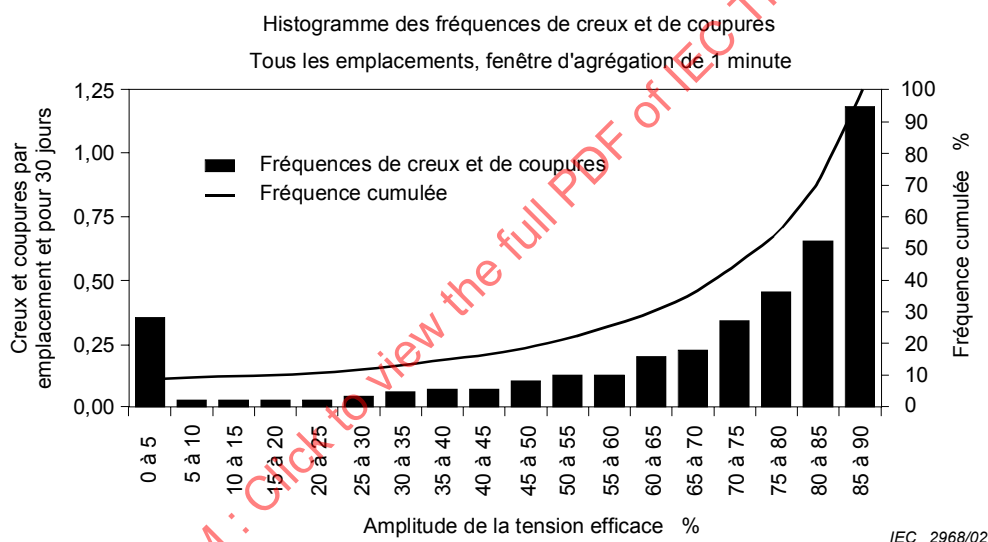


Figure 4 – Histogramme des fréquences de creux et de coupures

La Figure 5 illustre le nombre d'emplacements enregistrant un nombre donné de creux de tension en dessous de 4 seuils différents de tension. Ceci correspond à l'index de $SARFI_x$, où:

$$SARFI_x \text{ (System Average RMS (Variation) Frequency Index)} = \sum N_i / N_t$$

où

x = seuil de tension efficace;

N_i = nombre de clients par an ayant subi des creux de tension au-dessous de x ;

N_t = nombre de clients desservis par le réseau concerné.

7.2 Statistics from EPRI survey [9] [10]

For this survey, measurement results were collected over a two-year period (1993 to 1995) from the MV distribution system of 24 utilities throughout the United States. The actual number of sites at which monitors were installed totalled 277, on 95 different feeders. There were very few cable circuits in this survey.

In most cases, line-to-neutral voltages were measured at MV. The RMS voltage was calculated over one cycle. Any events within a 1-min period were classified as one dip, characterised by the minimum voltage on any phase and the duration of the event associated with that phase.

Statistical results of the frequency and the magnitude of voltage dips are illustrated in the following figures. (Data relating to the duration of voltage dips has not yet been published.) The returns from each site were given a sampling weight corresponding to the site's probability of having been selected from all possible monitoring locations.

Figure 4 represents the number of dips and interruptions per site per 30 days.

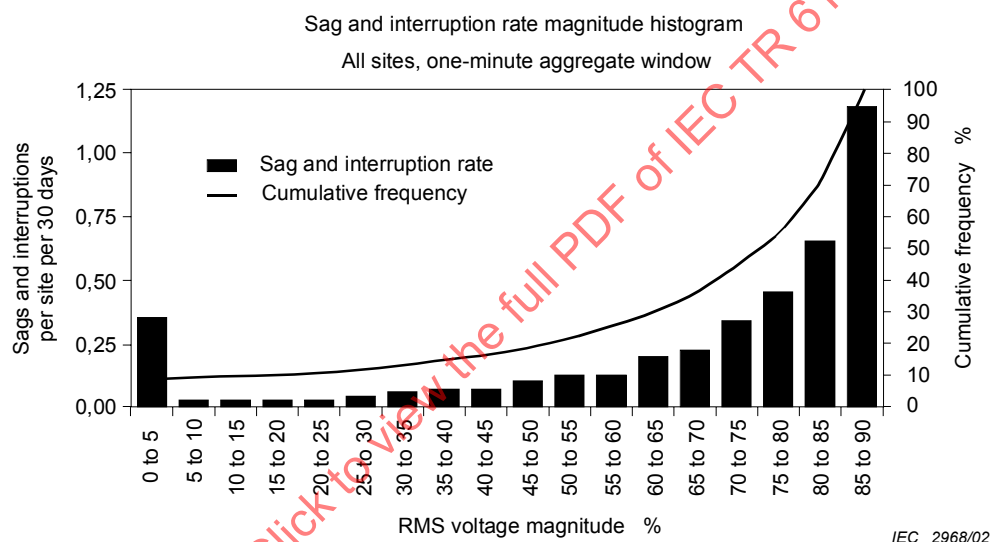


Figure 4 – Histogram of sag and interruption rates

Figure 5 illustrates the number of sites recording a given number of voltage dips below 4 different voltage thresholds. This corresponds to the SARFI_x index, where:

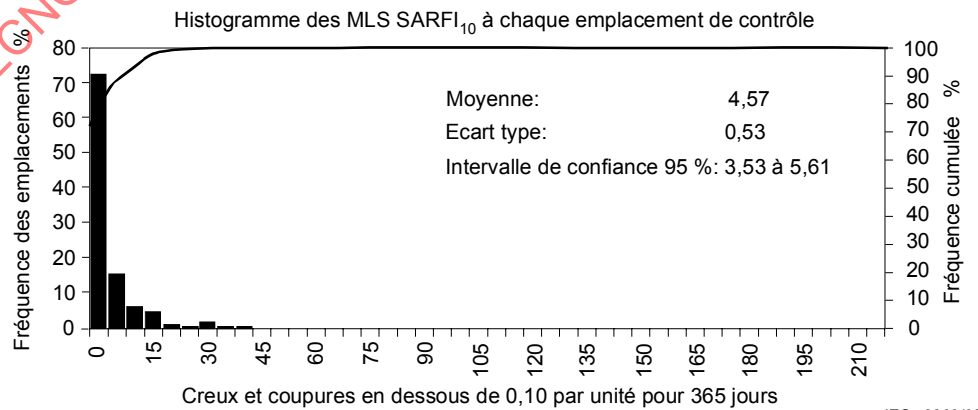
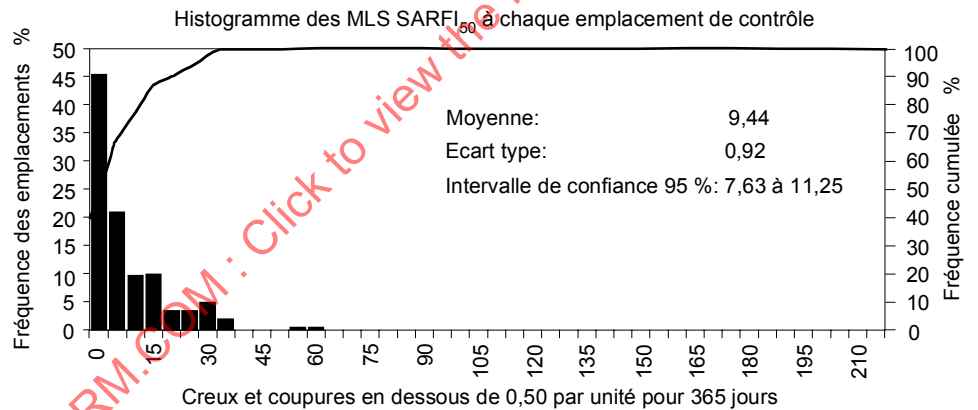
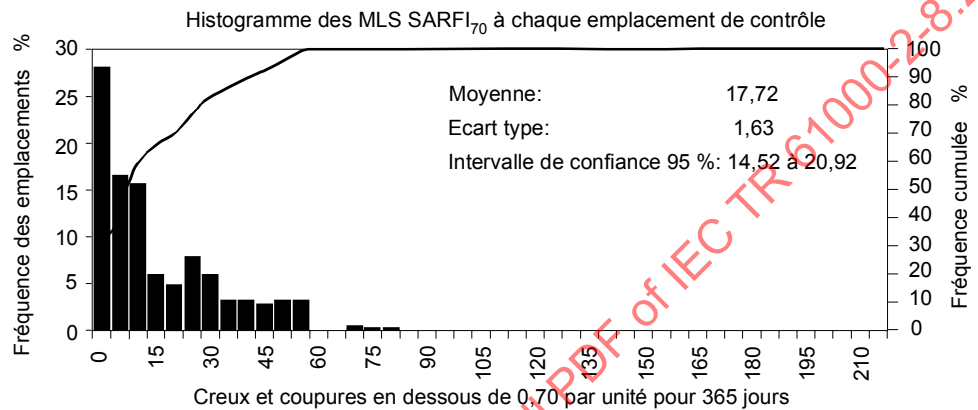
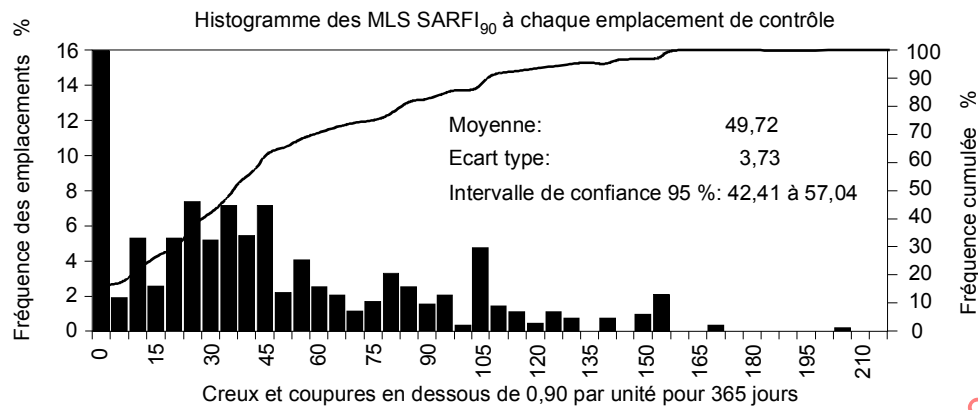
$$\text{SARFI}_x (\text{System Average RMS (Variation) Frequency Index}) = \Sigma N_i / N_t,$$

where

x = rms voltage threshold;

N_i = number of customers per year experiencing voltage dips below x ;

N_t = number of customers served from the section of the system concerned.



IEC 2969/02

Figure 5 – Nombre annuel de creux et coupures sous 4 seuils de tension

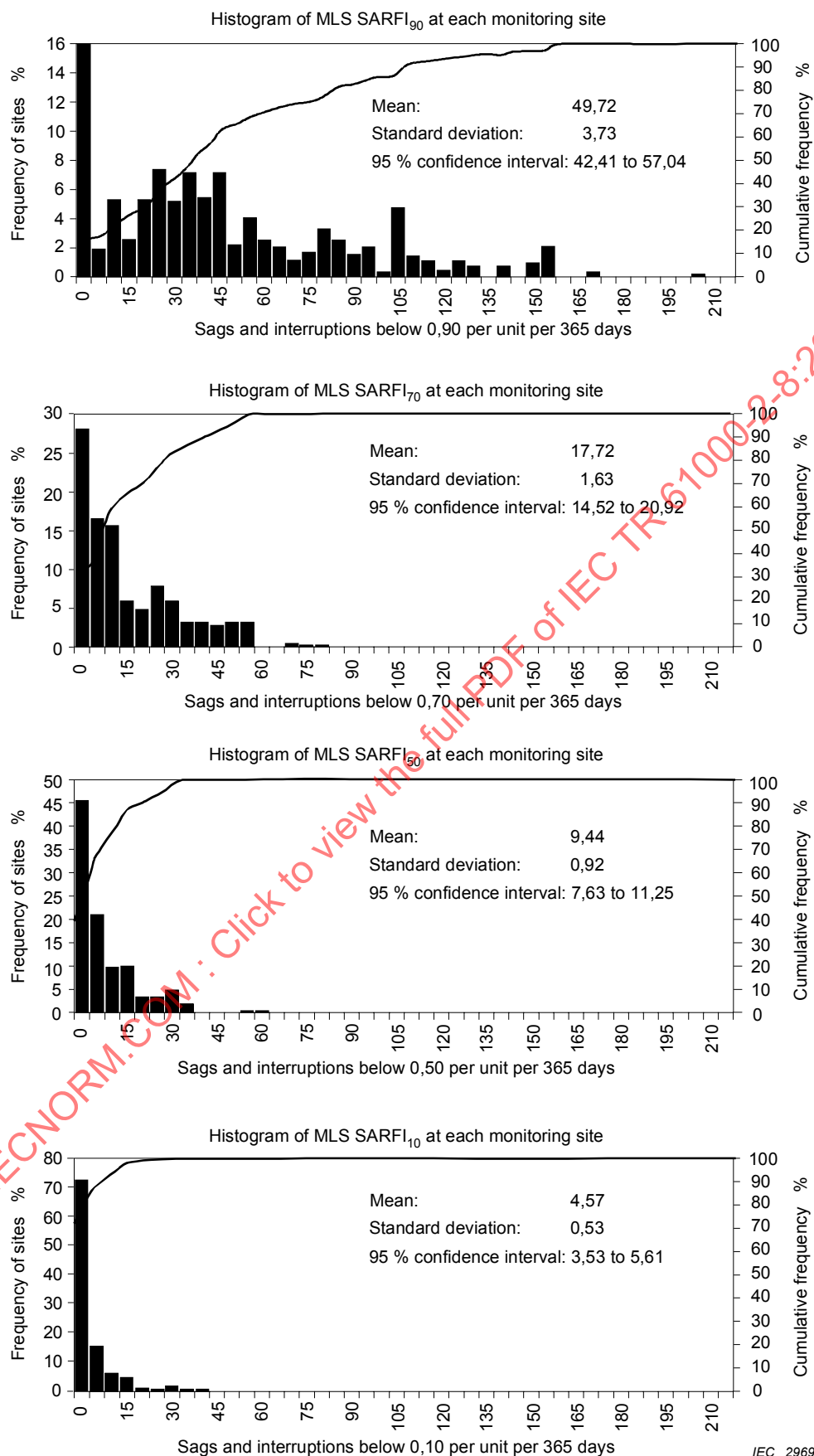


Figure 5 – Annual number of sags and interruptions below 4 voltage thresholds

7.3 Quelques statistiques de différents pays

7.3.1 Pays A

Ces mesures ont été exécutées dans des réseaux HT et MT pendant un an, utilisant 27 appareils en HT et 36 en MT.

Les seuils adoptés étaient 90 % (début), 92 % (fin) et 10 % (coupure), basés sur la tension nominale comme valeur de référence. Les valeurs efficaces de tension ont été calculées sur des fenêtres de 10 ms.

Un événement a été considéré comme un creux de tension quand au moins une des trois tensions tombe en dessous du seuil de début. Un événement a été considéré comme une coupure brève quand toutes les trois tensions ont chuté en dessous du seuil 10 %.

L'appareillage de mesure a été installé pour détecter les événements dont la durée était plus longue ou égale à 20 ms et pour lesquels la tension résiduelle était plus basse ou égale à 90 % de la tension de référence. Cependant, les tableaux suivants montrent seulement les événements dont la durée était plus longue ou égale à 50 ms, et dont l'amplitude était inférieure ou égale à 80 %.

Les coupures brèves ont été comptées séparément des creux de tension, produisant alors des statistiques séparées dans les tableaux ci-dessous.

Les Tableaux 9 et 10 montrent la distribution des creux et des coupures mesurées comme pourcentage du nombre d'événements détectés (plus de 20 000) dans les réseaux HT et MT.

Tableau 9 – Creux de tension et coupures brèves en réseau HT

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t				
	$50 \leq t < 200$ ms	$200 \leq t < 400$ ms	$400 \leq t < 600$ ms	$0,6 \leq t < 1$ s	$1 \leq t$ s
$80 > u \geq 75$	7,4 %	2,7 %	0,6 %	0,8 %	0,6 %
$75 > u \geq 70$	3,9 %	1,5 %	0,2 %	0,3 %	0 %
$70 > u \geq 50$	4,7 %	2,5 %	0,2 %	0,4 %	0,4 %
$50 > u \geq 30$	0,9 %	0,4 %	0,2 %	0,2 %	0 %
$30 > u$	3,2 %	0,6 %	0,2 %	0 %	1,1 %
Coupures brèves	0 %	0,3 %	0,1 %	0 %	3,5 %

Tableau 10 – Creux de tension et coupures brèves en réseau MT

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t				
	$50 \leq t < 200$ ms	$200 \leq t < 400$ ms	$400 \leq t < 600$ ms	$0,6 \leq t < 1$ s	$1 \leq t$ s
$80 > u \geq 75$	6,5 %	2,4 %	0,8 %	0,9 %	0 %
$75 > u \geq 70$	2,7 %	1,4 %	1,1 %	1,3 %	0 %
$70 > u \geq 50$	7,1 %	2,4 %	1,6 %	1,3 %	0 %
$50 > u \geq 30$	2,2 %	1,8 %	0,6 %	0,6 %	0 %
$30 > u$	5,7 %	2,4 %	0,8 %	0 %	0,2 %
Coupures brèves	1,3 %	2,4 %	0,2 %	0 %	4,7 %

7.3 Some statistics from individual countries

7.3.1 Country A

These measurements have been performed on the HV and MV systems over a period of one year, using 27 instruments at HV and 36 instruments at MV.

The thresholds adopted were 90 % (start), 92 % (end) and 10 % (interruption), based on the nominal voltage as the reference value. RMS voltage values were calculated over 10 ms windows.

An event was considered as a voltage dip when at least one of the three voltages dropped below the start threshold. An event was considered as a short interruption when all the three voltages dropped below the 10 % threshold.

The measuring equipment was set up to detect events whose duration was longer than or equal to 20 ms and in which the residual voltage was lower than or equal to 90 % of the reference voltage. However, the following tables show only events whose duration was longer than or equal to 50 ms, and whose amplitude was lower than or equal to 80 %.

Short interruptions were counted separately from voltage dips, resulting in separate statistics in the tables below.

Tables 9 and 10 show the distribution of the measured dips and interruptions as a percentage of the total number of detected events (over 20 000) on the HV and MV systems.

Table 9 – Voltage dips and short interruptions on the HV system

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t				
	$50 \leq t < 200$ ms	$200 \leq t < 400$ ms	$400 \leq t < 600$ ms	$0,6 \leq t < 1$ s	$1 \leq t$ s
$80 > u \geq 75$	7,4 %	2,7 %	0,6 %	0,8 %	0,6 %
$75 > u \geq 70$	3,9 %	1,5 %	0,2 %	0,3 %	0 %
$70 > u \geq 50$	4,7 %	2,5 %	0,2 %	0,4 %	0,4 %
$50 > u \geq 30$	0,9 %	0,4 %	0,2 %	0,2 %	0 %
$30 > u$	3,2 %	0,6 %	0,2 %	0 %	1,1 %
Short interruptions	0 %	0,3 %	0,1 %	0 %	3,5 %

Table 10 – Voltage dips and short interruptions on the MV system

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t				
	$50 \leq t < 200$ ms	$200 \leq t < 400$ ms	$400 \leq t < 600$ ms	$0,6 \leq t < 1$ s	$1 \leq t$ s
$80 > u \geq 75$	6,5 %	2,4 %	0,8 %	0,9 %	0 %
$75 > u \geq 70$	2,7 %	1,4 %	1,1 %	1,3 %	0 %
$70 > u \geq 50$	7,1 %	2,4 %	1,6 %	1,3 %	0 %
$50 > u \geq 30$	2,2 %	1,8 %	0,6 %	0,6 %	0 %
$30 > u$	5,7 %	2,4 %	0,8 %	0 %	0,2 %
Short interruptions	1,3 %	2,4 %	0,2 %	0 %	4,7 %

7.3.2 Pays B

La campagne de mesure a été effectuée pendant trois ans, 1996 – 1998, à l'aide de 45 enregistreurs de creux et en enregistrant les résultats à chaque emplacement choisi pendant une année complète. D'une façon générale, les mesures ont été prises entre phase et terre, mais les raccordements disponibles de transformateur de tension ont rendu nécessaire des mesures de phase-phase dans certains cas.

Les seuils adoptés étaient 90 % (début), 91 % (extrémité) et 1 % (coupure), basés sur la tension nominale comme valeur de référence.

Les creux de tension ont été classifiés selon la profondeur et la durée suivant la tabulation développée par UNIPED. Les creux qui impliquent plus d'une phase ont été indiqués comme un seul événement s'ils se superposaient. Les événements sans chevauchement ont été comptés comme creux distincts.

On a constaté qu'un quart des événements enregistrés a eu une durée dans la gamme de 10 ms à 20 ms. Il était également évident que les différents instruments de mesure ont répondu différemment à ces événements, qui sont probablement des transitoires de tension. Par conséquent on l'a décidé de négliger des événements qui avaient des durées de moins de 20 ms.

Les tableaux qui suivent, donnent les résultats pour trois types de réseaux: MT aérien – 109 sites de mesure, MT souterrain – 11 sites, et HT (400 kV) – 9 sites.

Dans chaque cas le maximum et la moyenne des incidences sont présentés. Pour des valeurs maximum (Tableaux 11, 14 et 16) chaque cellule du tableau contient le nombre annuel de creux de tension du site qui a enregistré le plus grand nombre de creux à la profondeur (tension résiduelle) et à la durée correspondantes. Pour les valeurs moyennes (Tableaux 13, 15 et 17) chaque cellule contient la moyenne arithmétique des nombres annuels enregistrés à tous les emplacements à la profondeur (tension résiduelle) et à la durée correspondantes.

En outre, le Tableau 12 contient les 95^e percentiles pour les réseaux aériens MT. Dans ce tableau, chaque cellule est le nombre maximal de creux après avoir exclu les 5 % des sites qui ont enregistré le plus grand nombre de creux à la profondeur (tension résiduelle) et à la durée correspondantes. (Le nombre de sites de mesure n'était pas suffisant pour permettre de produire de tels tableaux pour les autres types de réseaux.)

Tableau 11 – Réseaux MT aériens: fréquence des creux de tension – maximum

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	541	61	24	25	53	51	10
$85 > u \geq 70$	1 532	203	136	20	7	1	1
$70 > u \geq 40$	1 146	225	38	26	8	1	1
$40 > u \geq 1$	97	424	31	28	5	1	3
$1 > u \geq 0$ (coupures)	2	20	7	27	27	6	10

7.3.2 Country B

A measurement campaign was carried out over a period of three years, 1996 – 1998, using 45 dip recorders and recording the results at each selected site for one full year. Generally, the measurements were taken phase-ground, but the available voltage transformer connections necessitated phase-phase measurements in some cases.

The thresholds adopted were 90 % (start), 91 % (end) and 1 % (interruption), based on the nominal voltage as the reference value.

Voltage dips were classified by depth and duration in accordance with the tabulation developed by UNIPÉDE. Dips that involved more than one phase were designated as a single event if they overlapped in time. Events that were separated in time (without overlap) were counted as separate dips.

It was found that a quarter of the recorded events had durations in the range 10 ms to 20 ms. It was also evident that different measuring instruments responded differently to these events, which are probably voltage transients. Therefore it was decided to disregard events with durations less than 20 ms.

The tables that follow give the results for three types of network: medium voltage overhead – 109 measurement sites, medium voltage underground – 11 sites, and high voltage (400 kV) – 9 sites.

In each case both the maximum and mean incidence rates are presented. For maximum values (Tables 11, 14 and 16) each table cell contains the annual number of voltage dips at the site recording the greatest number of dips at the corresponding depth (residual voltage) and duration. For mean values (Tables 13, 15 and 17) each cell contains the arithmetic mean of the annual numbers recorded at all sites at the corresponding depth (residual voltage) and duration.

In addition, Table 12 contains the 95th percentiles for MV overhead networks. In this table each cell is the maximum number of dips after excluding the 5 % of sites recording the greatest number of dips of the corresponding depth (residual voltage) and duration. (The number of measurement sites was not sufficient to enable similar tables to be produced for the other network types.)

Table 11 – MV overhead networks: voltage dip incidence – maximum

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	541	61	24	25	53	51	10
$85 > u \geq 70$	1 532	203	136	20	7	1	1
$70 > u \geq 40$	1 146	225	38	26	8	1	1
$40 > u \geq 1$	97	424	31	28	5	1	3
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	2	20	7	27	27	6	10

Tableau 12 – Réseaux MT aériens: fréquence des creux de tension – 95^e percentile

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	150	37	9	6	3	2	1
$85 > u \geq 70$	238	93	14	5	1	0	0
$70 > u \geq 40$	141	128	15	5	1	0	0
$40 > u \geq 1$	55	113	12	4	1	0	0
$1 > u \geq 0$ (coupures)	0	4	1	6	7	2	3

Tableau 13 – Réseaux MT aériens: fréquence des creux de tension – moyenne

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	47,1	11,7	2,3	1,2	1,5	1,1	0,2
$85 > u \geq 70$	63,9	28,1	5,3	1,0	0,2	0	0
$70 > u \geq 40$	36,5	31,9	3,6	1,1	0,2	0	0
$40 > u \geq 1$	10,4	24,2	2,5	0,8	0,2	0	0
$1 > u \geq 0$ (coupures)	0	0,8	0,3	1,1	1,4	0,4	0,6

Tableau 14 – Réseaux MT souterrains: fréquence des creux de tension – maximum

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	105	34	8	20	43	11	10
$85 > u \geq 70$	64	54	28	2	0	0	0
$70 > u \geq 40$	65	126	9	2	0	0	0
$40 > u \geq 1$	26	53	3	1	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (coupures)	0	9	5	6	3	1	2

Table 12 – MV overhead networks: voltage dip incidence – 95th percentile

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	150	37	9	6	3	2	1
$85 > u \geq 70$	238	93	14	5	1	0	0
$70 > u \geq 40$	141	128	15	5	1	0	0
$40 > u \geq 1$	55	113	12	4	1	0	0
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	0	4	1	6	7	2	3

Table 13 – MV overhead networks: voltage dip incidence – mean

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	47,1	11,7	2,3	1,2	1,5	1,1	0,2
$85 > u \geq 70$	63,9	28,1	5,3	1,0	0,2	0	0
$70 > u \geq 40$	36,5	31,9	3,6	1,1	0,2	0	0
$40 > u \geq 1$	10,4	24,2	2,5	0,8	0,2	0	0
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	0	0,8	0,3	1,1	1,4	0,4	0,6

Table 14 – MV underground networks: voltage dip incidence – maximum

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	105	34	8	20	43	11	10
$85 > u \geq 70$	64	54	28	2	0	0	0
$70 > u \geq 40$	65	126	9	2	0	0	0
$40 > u \geq 1$	26	53	3	1	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	0	9	5	6	3	1	2

Tableau 15 – Réseaux MT souterrains: fréquence des creux de tension – moyenne

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	37,4	12,1	1,8	1,9	4,2	1,2	1,1
$85 > u \geq 70$	24,0	20,4	4,4	0,5	0	0	0
$70 > u \geq 40$	14,2	19,7	2,1	0,2	0	0	0
$40 > u \geq 1$	5,6	12,5	0,8	0,1	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (coupures)	0	0,8	0,7	0,6	0,7	0,2	0,5

Tableau 16 – Réseaux HT (400 kV): fréquence des creux de tension – maximum

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	50	11	2	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	61	15	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	20	14	1	0	0	0	0
$40 > u \geq 1$	2	1	0	6	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (coupures)	0	0	2	4	0	0	0

Tableau 17 – Réseaux HT (400 kV): fréquence des creux de tension – moyenne

Tension résiduelle u % de tension de référence	Durée t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	27,7	3,1	0,4	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	30,2	7,6	0,3	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	7,1	2,9	0,2	0	0	0	0
$40 > u \geq 1$	0,9	0,1	0	1,1	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (coupures)	0	0	0,2	0,6	0	0	0

7.3.3 Pays C

Pour ce pays, les résultats de mesure sont disponibles comme suit:

- deux sites de mesure sur des réseaux souterrains pendant les trois années de 1996 à 1998 inclus;
- trois sites de mesure sur des réseaux mixtes (aériens/souterrains) pendant les mêmes trois années;
- trois sites de mesure sur des réseaux mixtes pendant une seule année, 1999;
- trois sites de mesure sur des réseaux aériens pendant l'année, 1999.

Ces mesures ont été prises aux barres MT des sous-stations HT/MT.

Table 15 – MV underground networks: voltage dip incidence – mean

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	37,4	12,1	1,8	1,9	4,2	1,2	1,1
$85 > u \geq 70$	24,0	20,4	4,4	0,5	0	0	0
$70 > u \geq 40$	14,2	19,7	2,1	0,2	0	0	0
$40 > u \geq 1$	5,6	12,5	0,8	0,1	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	0	0,8	0,7	0,6	0,7	0,2	0,5

Table 16 – HV (400 kV) networks: voltage dip incidence – maximum

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	50	11	2	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	61	15	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	20	14	1	0	0	0	0
$40 > u \geq 1$	2	1	0	6	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	0	0	2	4	0	0	0

Table 17 – HV (400 kV) networks: voltage dip incidence – mean

Residual voltage u % of reference voltage	Duration t						
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 60$ s	$60 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	27,7	3,1	0,4	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	30,2	7,6	0,3	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	7,1	2,9	0,2	0	0	0	0
$40 > u \geq 1$	0,9	0,1	0	1,1	0	0	0
$1 > u \geq 0$ (interruptions)	0	0	0,2	0,6	0	0	0

7.3.3 Country C

For this country, measurement results are available as follows:

- two measurement sites on underground networks for the three years 1996-1998 inclusive;
- three measurement sites on mixed networks (overhead/underground) for the same three years;
- three measurement sites on mixed networks for a single year, 1999;
- three measurement sites on overhead networks for the year 1999.

These measurements were taken at the MV busbars of HV/MV substations.

En plus des tableaux habituels de résultats, une valeur caractéristique simple a été déterminée pour chaque tableau de résultats. Celle-ci a été évaluée en appliquant une pondération à la valeur de chaque cellule et en prenant l'addition de toutes les valeurs pondérées des cellules.

Les coefficients de pondération des cellules sont donnés dans le Tableau 18. Pour chaque cellule, le coefficient est donné par le produit des valeurs à mi-intervalle des intervalles de durée et de profondeur (pas la tension résiduelle). Par exemple, la cellule correspondant à l'intervalle de durée 0,5 s – 0,75 s et l'intervalle de profondeur $0,3U_{\text{réf}} - 0,6U_{\text{réf}}$ (tension résiduelle $0,4U_{\text{réf}} - 0,7U_{\text{réf}}$) a le coefficient de pondération $0,28125 = 0,625 \times 0,45$. Cependant, selon l'hypothèse qu'il n'y a aucun accroissement de la gravité au-delà de 1 s, le coefficient est calculé sur la base de la même valeur de mi-intervalle de durée de 0,875 pour les quatre colonnes finales.

Tableau 18 – Coefficient de pondération de la gravité des creux de tension

Tension résiduelle u	Profondeur u'	Durée t							
		$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
% de U_N									
$90 > u \geq 85$	$10 < u' \leq 15$	0,008	0,022	0,047	0,078	0,109	0,109	0,109	0,109
$85 > u \geq 70$	$15 < u' \leq 30$	0,014	0,039	0,084	0,141	0,197	0,197	0,197	0,197
$70 > u \geq 40$	$30 < u' \leq 60$	0,027	0,079	0,169	0,281	0,394	0,394	0,394	0,394
$40 > u \geq 10$	$60 < u' \leq 90$	0,045	0,131	0,281	0,469	0,656	0,656	0,656	0,656
$10 > u \geq 0$	$90 < u' \leq 100$	0,057	0,166	0,356	0,594	0,831	0,831	0,831	0,831

La somme pondérée obtenue après la multiplication des différentes valeurs de cellules par les coefficients correspondants contenus dans le Tableau 18 est montrée à la fin de chacun des Tableaux 19 à 26 suivants. Pour la comparaison, elle est accompagnée de la somme directe résultant de l'addition des valeurs réelles des cellules, sans appliquer la pondération.

Les Tableaux 19 et 20 contiennent les résultats pour deux sites de mesure sur des réseaux souterrains pour la période de trois ans 1996-1998. Ces deux tableaux contiennent les valeurs maximales et moyennes, respectivement, du nombre annuel de creux de tension enregistrés pour chaque combinaison des intervalles classifiés suivant la tension résiduelle et la durée. Dans le cas des valeurs maximales, la moyenne des trois nombres annuels est déterminée pour chacun des deux sites et le plus grand des deux résultats est représenté dans chaque cellule du tableau. Dans le cas des valeurs moyennes, le nombre dans chaque cellule est simplement la moyenne des six valeurs – trois valeurs annuelles pour chacun des deux sites.

Les Tableaux 21 et 22 contiennent la même information pour des réseaux mixtes dans la même période de trois ans. Ils sont calculés comme décrit ci-dessus, sauf qu'il y avait trois sites de mesure au lieu de deux.

In addition to the usual tables of results, a single characteristic value was determined for each set of tabulated results. This was evaluated by applying a weighting to the value in each cell and then taking the summation of all the weighted cell values.

The cell weighting coefficients are given in Table 18. For each cell the coefficient is given by the product of the mid-interval values of the *duration* and *depth* (not residual voltage) intervals. For example, the cell corresponding to the duration interval 0,5 s – 0,75 s and the depth interval $0,3U_{\text{ref}} - 0,6U_{\text{ref}}$ (residual voltage $0,4U_{\text{ref}} - 0,7U_{\text{ref}}$) has the weighting coefficient $0,28125 = 0,625 \times 0,45$. However, on the assumption that there is no further increase in severity beyond 1 s, the coefficient is calculated on the basis of the same duration mid-interval value of 0,875 for the final four columns.

Table 18 – Voltage dip severity weighting coefficients

Residual voltage u	Depth u'	Duration t							
		$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
% of U_N									
$90 > u \geq 85$	$10 < u' \leq 15$	0,008	0,022	0,047	0,078	0,109	0,109	0,109	0,109
$85 > u \geq 70$	$15 < u' \leq 30$	0,014	0,039	0,084	0,141	0,197	0,197	0,197	0,197
$70 > u \geq 40$	$30 < u' \leq 60$	0,027	0,079	0,169	0,281	0,394	0,394	0,394	0,394
$40 > u \geq 10$	$60 < u' \leq 90$	0,045	0,131	0,281	0,469	0,656	0,656	0,656	0,656
$10 > u \geq 0$	$90 < u' \leq 100$	0,057	0,166	0,356	0,594	0,831	0,831	0,831	0,831

The weighted sum obtained after multiplying the individual cell values by the corresponding coefficients contained in Table 18 is shown at the end of each of the following tables 19 to 26. For comparison, it is accompanied by the direct sum resulting from the summation of the actual, unweighted, cell values.

Tables 19 and 20 contain the results for two measuring sites on underground networks for the 3-year period 1996-1998. These two tables contain the maximum and mean values, respectively, of the annual number of voltage dips recorded for each combination of the classified intervals of residual voltage and duration. In the case of the maximum values, the mean of the three annual numbers is determined for each of the two sites and the greater of the two results is presented for each cell of the table. In the case of the mean values, the number in each cell is simply the mean of six values – three annual figures for each of two sites.

Tables 21 and 22 contain the same information for mixed networks in the same 3-year period. They are calculated as just described, except that there were three measurement sites instead of two.

Tableau 19 – Réseaux souterrains: 2 sites de mesures, 1996-1998 – nombre maximal de creux/an

	Durée t							
Tension résiduelle u % de U_N	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	1,67	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
$85 > u \geq 70$	3,67	3,33	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
$70 > u \geq 40$	0,67	2,67	0,33	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00
$40 > u \geq 10$	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$10 > u \geq 0$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Somme directe: 17,0 Somme pondérée: 1,5								

Tableau 20 – Réseaux souterrains: 2 sites de mesures, 1996-1998 – nombre moyen de creux/an

Tension résiduelle u % de U_N	Durée t							
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	1,17	0,17	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
$85 > u \geq 70$	3,67	2,50	0,50	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
$70 > u \geq 40$	0,33	1,33	0,17	1,00	0,00	0,67	0,00	0,00
$40 > u \geq 10$	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$10 > u \geq 0$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Somme directe: 12,2								
Somme pondérée: 1,0								

Tableau 21 – Réseaux mixtes: 3 sites de mesures, 1996-1998 – nombre maximal de creux/an

Tension résiduelle u % de U_N	Durée t							
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	4,00	1,33	1,00	0,67	0,33	0,67	0,33	0,00
$85 > u \geq 70$	8,67	5,33	2,33	2,33	1,33	0,33	0,00	0,00
$70 > u \geq 40$	3,00	3,67	2,67	4,00	0,67	1,00	0,00	0,00
$40 > u \geq 10$	0,67	1,33	0,67	1,00	1,00	1,67	0,00	0,00
$10 > u \geq 0$	0,00	0,33	0,33	0,67	0,00	1,00	0,33	0,00
Somme directe: 52,7 Somme pondérée: 8,3								

Table 19 – Underground networks: 2 measurement sites, 1996-1998 – maximum number of dips/year

	Duration t							
Residual voltage u % of U_N	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	1,67	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
$85 > u \geq 70$	3,67	3,33	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
$70 > u \geq 40$	0,67	2,67	0,33	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00
$40 > u \geq 10$	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$10 > u \geq 0$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Direct sum: 17,0								
Weighted sum: 1,5								

Table 20 – Underground networks: 2 measurement sites, 1996-1998 – mean number of dips/year

	Duration t							
Residual voltage u % of U_N	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	1,17	0,17	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
$85 > u \geq 70$	3,67	2,50	0,50	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
$70 > u \geq 40$	0,33	1,33	0,17	1,00	0,00	0,67	0,00	0,00
$40 > u \geq 10$	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$10 > u \geq 0$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Direct sum: 12,2								
Weighted sum: 1,0								

Table 21 – Mixed networks: 3 measurement sites, 1996-1998 – maximum number of dips/year

Residual voltage u % of U_N	Duration t							
	$20 \leq t < 100$ ms	$100 \leq t < 250$ ms	$250 \leq t < 500$ ms	$0,5 \leq t < 0,75$ s	$0,75 \leq t < 1$ s	$1 \leq t < 3$ s	$3 \leq t < 20$ s	$20 \leq t < 180$ s
$90 > u \geq 85$	4,00	1,33	1,00	0,67	0,33	0,67	0,33	0,00
$85 > u \geq 70$	8,67	5,33	2,33	2,33	1,33	0,33	0,00	0,00
$70 > u \geq 40$	3,00	3,67	2,67	4,00	0,67	1,00	0,00	0,00
$40 > u \geq 10$	0,67	1,33	0,67	1,00	1,00	1,67	0,00	0,00
$10 > u \geq 0$	0,00	0,33	0,33	0,67	0,00	1,00	0,33	0,00
Direct sum: 52,7 Weighted sum: 8,3								