

6.3.2	Essais de tension de décharge disruptive .....	99
6.3.3	Essais de tension de décharge disruptive assurée.....	99
7	Essais en tension de choc de foudre .....	100
7.1	Définitions concernant les essais aux chocs de foudre .....	100
7.2	Tension d'essai .....	108
7.2.1	Tension de choc de foudre normalisée .....	108
7.2.2	Tolérances .....	108
7.2.3	Tension de choc de foudre coupée normalisée .....	108
7.2.4	Tensions de choc de foudre spéciales .....	108
7.2.5	Génération de la tension d'essai.....	108
7.2.6	Mesure de la tension d'essai et détermination de la forme du choc.....	108
7.2.7	Mesure du courant lors des essais avec des tensions de choc .....	109
7.3	Procédures d'essai.....	109
7.3.1	Essais de tension de tenue.....	109
7.3.2	Procédures d'essai de tension de décharge disruptive assurée .....	110
8	Essais avec tension de choc de manœuvre .....	111
8.1	Définitions concernant les essais de tension de choc de manœuvre.....	111
8.2	Tension d'essai .....	112
8.2.1	Tension de choc de manœuvre normalisée.....	112
8.2.2	Tolérances .....	112
8.2.3	Évaluation de la durée jusqu'à la crête .....	112
8.2.4	Tensions de choc de foudre spéciales .....	113
8.2.5	Génération de la tension d'essai.....	113
8.2.6	Mesure de la tension d'essai et détermination de la forme du choc.....	113
8.2.7	Mesure du courant lors des essais avec des tensions de choc .....	113
8.3	Procédures d'essai.....	113
9	Essais avec des tensions combinées et composites .....	114
9.1	Définitions concernant les essais sous tensions combinées et composites .....	114
9.2.4	Tolérances .....	116
9.2.5	Génération .....	116
9.2.6	Mesure .....	116
9.3	Tensions d'essai composites .....	117
9.3.1	Paramètres.....	117
9.3.2	Tolérances .....	117
9.3.3	Production.....	117
9.3.4	Mesure .....	117
9.4	Procédures d'essai.....	118
	Annexe A (informative) Traitement statistique des résultats d'essais .....	119
	Annexe B (normative) Procédures de calcul des paramètres des tensions de chocs de foudre normalisées avec superposition de dépassement ou d'oscillations .....	129
	Annexe C (informative) Directives pour la mise en œuvre d'un logiciel d'évaluation des paramètres de tension de choc de foudre .....	134
	Annexe D (informative) Arrière plan de l'introduction du facteur de tension d'essai pour l'évaluation des chocs avec dépassement.....	137
	Annexe E (informative) Méthode par calcul itératif dans la procédure réciproque pour la détermination du facteur de correction atmosphérique .....	143
	Bibliographie.....	149

Figure 1 – Distance minimale  $D$  recommandée entre les objets sous tension ou mis à la terre et l'électrode sous tension d'un objet en essai, pendant un essai en courant alternatif ou de surtension de manœuvre positive avec tension maximale  $U$  appliquée pendant l'essai..... 85

Figure 2 –  $k$  en fonction du rapport entre l'humidité absolue  $h$  et la densité relative de l'air  $\delta$  (voir 4.3.4.2 pour les limites d'application)..... 88

Figure 3 – Valeurs des exposants  $m$  et  $w$  ..... 89

Figure 4 – Humidité absolue de l'air en fonction des indications du thermomètre à bulbes sec et humide ..... 90

Figure 5 – Tension de choc de foudre plein ..... 100

Figure 6 – Fonction de tension d'essai..... 102

Figure 7 – Paramètres de temps de la tension de choc pleine..... 103

Figure 8 – Intervalle temps–tension ..... 104

Figure 9 – Intégrale de tension ..... 104

Figure 10 – Tension de choc de foudre coupée sur le front ..... 105

Figure 11 – Tension de choc de foudre coupée sur la queue ..... 106

Figure 12 – Choc coupé ayant un front augmentant linéairement ..... 106

Figure 13 – Courbe tension/temps pour des chocs ayant une forme présumée constante..... 107

Figure 14 – Tension de choc de commutation ..... 111

Figure 15 – Circuit pour un essai sous tension combinée..... 114

Figure 16 – Exemple schématique de tension combinée et composite ..... 115

Figure 17 – Circuit pour un essai sous tension composite..... 116

Figure 18 – Définition du retard de temps  $\Delta t$  ..... 117

Figure A.1 – Exemple d'essai à paliers multiples (Classe 1) ..... 122

Figure A.2 – Exemples d'essais de diminution (Classe 2) et augmentation de haut en bas, pour la détermination des probabilités de décharges disruptives à 10 % et 90 % respectivement ..... 123

Figure A.3 – Exemples d'essais de contraintes progressives (Classe 3) ..... 124

Figure B.1 – Courbe enregistrée et courbe de référence montrant le dépassement et la courbe résiduelle ..... 130

Figure B.2 – Courbe de tension d'essai (somme de la courbe de référence et de la courbe résiduelle filtrée) ..... 130

Figure B.3 – Courbes enregistrée et de tension d'essai ..... 131

Figure D.1 – Fonction tension d'essai « efficace » dans la CEI 60060:1989..... 138

Figure D.2 – Points expérimentaux représentatifs provenant de l'expérimentation européenne et fonction de tension d'essai ..... 140

Figure E.1 – Pression atmosphérique en fonction de l'altitude ..... 144

  

Tableau 1 – Valeurs des exposants,  $m$  pour la correction de la densité de l'air et  $w$  pour la correction de l'humidité, en fonction du paramètre  $g$ ..... 89

Tableau 2 – Caractéristiques d'aspersion pour la procédure normalisée ..... 92

Tableau A.1 – Probabilités de décharge dans les essais de montée et de descente..... 126

Tableau E.1 – Altitudes et pression atmosphérique à certains emplacements ..... 144

Tableau E.2 – Valeur initiale  $K_t$  et ses coefficients de sensibilité par rapport à  $U_{50}$  pour l'exemple de la tension d'essai alternative normale de 395 kV entre phase et terre ..... 145

Tableau E.3 – Valeurs initiales et après convergence  $K_t$  pour l'exemple de la tension normale d'essai en courant alternatif entre phase et terre de 395 kV ..... 147

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## TECHNIQUE DES ESSAIS À HAUTE TENSION –

### Partie 1: Définitions et exigences générales

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60060-1 a été établie par le comité d'études 42 de la CEI: Techniques des essais à haute tension.

Cette troisième édition de CEI 60060-1 annule et remplace la seconde édition publiée en 1989 et constitue une révision technique.

Les changements techniques importants, par rapport à l'édition précédente, sont les suivants.

- a) L'arrangement général et les textes ont été améliorés et mis à jour pour faciliter l'utilisation de la norme.
- b) Les procédés de test de pollution artificielle ont été retirés car ils sont inclus dans la CEI 60507.

- c) La mesure de courant de choc a été transférée dans une nouvelle norme de mesure de courant (CEI 62475).
- d) Les facteurs de correction atmosphérique sont présentés sous forme de formules.
- e) Une nouvelle méthode a été introduite pour calculer les paramètres de temps des ondes de chocs de foudre. Ceci améliore la mesure des paramètres de temps des chocs de foudre qui comprennent des oscillations et des dépassements.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
42/277/FDIS	42/282/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60060, présentées sous le titre général *Technique des essais à haute tension*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

## TECHNIQUE DES ESSAIS À HAUTE TENSION –

### Partie 1: Définitions et exigences générales

#### 1 Domaine d'application

Cette partie de CEI 60060 est applicable:

- aux essais diélectriques en tension continue;
- aux essais diélectriques en tension alternative;
- aux essais diélectriques en tension de choc;
- aux essais diélectriques combinant les essais ci-dessus.

Cette partie est applicable aux essais de matériels dont la tension la plus élevée  $U_m$  pour le matériel est supérieure à 1 kV.

NOTE 1 Des variantes aux procédures d'essais peuvent être exigées pour obtenir des résultats reproductibles et significatifs. Il convient que le choix d'une procédure d'essais appropriée soit effectué par le Comité d'études concerné.

NOTE 2 Pour les tensions  $U_m$  supérieures à 800 kV qui satisfont à certaines procédures spécifiées, les tolérances et les incertitudes peuvent ne pas être respectées.

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60060-2: *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

CEI 60270: *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

CEI 60507:1991, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

CEI 61083-1, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 1: Prescriptions pour les appareils*

IEC 61083-2, *Enregistreurs numériques pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 2: Evaluation du logiciel utilisé pour obtenir les paramètres des formes d'onde de choc*

IEC 62475, *Techniques des essais à haute intensité: Définitions et exigences relatives aux courants d'essai et systèmes de mesure*

#### 3 Termes et définitions

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

### 3.1 Définitions qui illustrent les caractéristiques des décharges

#### 3.1.1

##### **décharge disruptive**

défaillance de l'isolation sous une contrainte électrique, pendant laquelle la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension appliquée entre les électrodes à une valeur pratiquement nulle

NOTE 1 Des décharges disruptives non entretenues pendant lesquelles l'objet en essai est momentanément court-circuité par une étincelle ou un arc peuvent se produire. Pendant ces événements, la tension aux bornes de l'objet en essai est momentanément réduite à zéro ou à une très faible valeur. Selon les caractéristiques du circuit d'essai et de l'objet en essai, la rigidité diélectrique peut être rétablie et peut même permettre à la tension d'essai d'atteindre une valeur plus élevée. Il convient de considérer un tel événement comme une décharge disruptive sauf spécification contraire du Comité d'études concerné.

NOTE 2 Une décharge disruptive dans un diélectrique solide occasionne la perte définitive de la rigidité diélectrique; dans les diélectriques liquides ou gazeux, cette perte peut n'être que momentanée.

#### 3.1.2

##### **amorçage**

décharge disruptive qui se produit dans un gaz ou un liquide

#### 3.1.3

##### **amorçage**

décharge disruptive qui se produit à la surface d'un diélectrique dans un milieu gazeux ou liquide

#### 3.1.4

##### **perforation**

décharge disruptive qui se produit à travers un diélectrique solide

#### 3.1.5

##### **valeur de la tension de décharge disruptive d'un objet en essai**

valeur de la tension d'essai provoquant une décharge disruptive, comme spécifié, pour les différents essais, dans les articles correspondants de la présente norme

#### 3.1.6

##### **décharge non disruptive**

décharge entre des électrodes ou des conducteurs intermédiaires sans réduction à zéro de la tension d'essai.

NOTE 1 Il convient de considérer un tel événement comme une décharge disruptive sauf spécification contraire du Comité d'études concerné.

NOTE 2 Certaines décharges non disruptives sont dénommées « décharges partielles » et sont traitées dans la CEI 60270.

### 3.2 Définitions qui illustrent les caractéristiques de la tension d'essai

#### 3.2.1

##### **caractéristiques présumées d'une tension d'essai**

caractéristiques qui auraient été obtenues si aucune décharge disruptive ne s'était produite. Lorsqu'une caractéristique présumée est utilisée, cela doit toujours être mentionné.

#### 3.2.2

##### **caractéristiques réelles d'une tension d'essai**

caractéristiques d'essai apparaissant pendant l'essai, aux bornes de l'objet en essai

#### 3.2.3

##### **valeur de la tension d'essai**

définie dans les articles correspondants de cette norme

### 3.2.4

#### **tension de tenue d'un objet en essai**

tension présumée spécifiée qui caractérise l'isolation de l'objet par rapport à un essai de tenue

NOTE 1 Sauf spécification contraire, les tensions de tenue font référence aux conditions atmosphériques de référence normalisées (voir 4.3.1).

NOTE 2 Ceci s'applique seulement à l'isolation externe.

### 3.2.5

#### **valeur assurée de la tension de décharge disruptive d'un objet en essai**

tension présumée spécifiée qui caractérise ses performances par rapport à un essai de décharge disruptive

## 3.3 Définitions qui illustrent la tolérance et l'incertitude

### 3.3.1

#### **tolérance**

constitue la différence permise entre la valeur mesurée et la valeur spécifiée

NOTE 1 Il convient de distinguer cette différence de l'incertitude d'une mesure.

NOTE 2 Une décision d'acceptation ou de rejet est fondée sur la valeur mesurée, sans tenir compte de l'incertitude de mesure.

### 3.3.2

#### **incertitude (d'une mesure)**

paramètre associé à un résultat de mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

[VEI 311-01-02]

NOTE 1 Dans la présente norme, toutes les valeurs d'incertitude sont précisées à un niveau de confiance de 95 %.

NOTE 2 L'incertitude est positive et elle est donnée sans signe.

NOTE 3 Il convient de ne pas la confondre avec la tolérance d'une valeur ou d'un paramètre spécifié d'essai.

## 3.4 Définitions qui illustrent les caractéristiques des valeurs des tensions de décharge disruptive

### 3.4.1

#### **probabilité de décharge d'un objet en essai**

$p$

probabilité qu'une application d'une tension d'amplitude présumée de forme donnée, conduite à une décharge disruptive sur l'objet en essai

NOTE Le paramètre  $p$  peut être exprimé sous forme de pourcentage ou de nombre fractionnaire.

### 3.4.2

#### **probabilité de tenue d'un objet en essai**

$q$

probabilité qu'une application d'une tension d'amplitude présumée de forme donnée, n'entraîne pas de décharge disruptive sur l'objet en essai

NOTE Si  $p$  est la probabilité de décharge disruptive, la probabilité de tenue  $q$  est  $(1 - p)$ .

**3.4.3****tension  $p$  % de décharge disruptive d'un objet en essai** $U_p$ 

valeur de la tension présumée qui a une probabilité de  $p$  % de produire une décharge disruptive sur l'objet en essai

NOTE 1 Mathématiquement, la tension  $p$  % de décharge disruptive est le quantile de l'ordre  $p$  (ou  $p$  quantile) de la tension de claquage.

NOTE 2  $U_{10}$  est appelée « tension de tenue statistique » et  $U_{90}$  est appelée « tension de décharge disruptive assurée statistique ».

**3.4.4****tension à 50 % de décharge disruptive d'un objet en essai,** $U_{50}$ 

valeur de la tension présumée qui a une probabilité de 50 % de produire une décharge disruptive sur l'objet en essai

**3.4.5****valeur arithmétique moyenne de la tension disruptive d'un objet en essai,** $U_a$ 

$$U_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i$$

où

$U_i$  est la tension disruptive mesurée et

$n$  est le nombre d'observations, (décharges).

NOTE Pour les distributions symétriques  $U_a$  est identique à  $U_{50}$ .

**3.4.6****écart-type de la tension disruptive d'un objet en essai** $s$ 

mesure de la dispersion de la tension disruptive estimée par

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - U_a)^2}$$

où

$U_i$  est la  $i^{\text{ème}}$  tension disruptive mesurée et

$U_a$  est la moyenne arithmétique des tensions disruptives (dans la plupart des cas elle est identique à  $U_{50}$ ).

$n$  est le nombre d'observations, (décharges).

NOTE 1 Il peut également être évalué par la différence entre les tensions de décharge disruptive à 50 % et à 16 % (ou entre les tensions de décharge disruptive à 84 % et à 50 %). Il est souvent exprimé en valeur par unité ou en pourcentage rapporté à la tension de décharge disruptive à 50 %.

NOTE 2 Pour les essais de décharge successifs, l'écart-type  $s$  est défini par la formule. Pour la méthode des paliers multiples et des essais de montée et descente, il est défini par la différence des quantiles. Les méthodes sont équivalentes, car entre  $p = 16$  % et  $p = 84$  % toutes les fonctions de distribution sont presque identiques.

### **3.5 Définitions qui illustrent la classification des isolations en des objets en essai**

#### **3.5.1**

##### **isolation externe**

intervalles d'air et surfaces exposées des isolations solides d'un matériel qui sont soumis à la fois aux contraintes diélectriques et aux effets directs des conditions atmosphériques ou à d'autres agents externes

#### **3.5.2**

##### **isolation interne**

éléments internes solides, liquides ou gazeux de l'isolation d'un matériel, qui sont à l'abri des effets directs des conditions externes tels que la pollution, l'humidité et la faune

#### **3.5.3**

##### **isolation autorégénératrice**

isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive produite par l'application d'une tension d'essai

[VEI 604-03-04, modifiée]

#### **3.5.4**

##### **isolation non autorégénératrice**

isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement après une décharge disruptive produite par l'application d'une tension d'essai

[VEI 604-03-05, modifiée]

NOTE Les appareils à haute tension comportent toujours une combinaison des isolations autorégénératrice et non autorégénératrice et certaines parties peuvent être dégradées par des applications de tensions successives ou permanentes. Il convient que le comportement de ces isolations soit considéré par le Comité d'études concerné lors de la spécification des procédures d'essais à appliquer.

## **4 Exigences générales**

### **4.1 Exigences générales pour les procédures d'essai**

Les procédures d'essai à appliquer pour des types particuliers d'objets en essai, par exemple, la tension d'essai, la polarité à appliquer, l'ordre préférentiel si les deux polarités sont à appliquer, le nombre d'applications et l'intervalle de temps entre chaque application, doivent être spécifiés par le Comité d'études concerné, en tenant compte des facteurs tels que:

- la précision exigée pour les résultats d'essais;
- la nature aléatoire du phénomène observé;
- toute influence de la polarité sur les caractéristiques mesurées et
- l'éventualité d'une détérioration progressive en cas d'applications répétées de la tension.

Au moment d'un essai, l'objet en essai doit être complet, avec tous ses accessoires essentiels, et il convient qu'il ait normalement subi le traitement normal pour un matériel similaire.

Au moment d'un essai, il convient d'acclimater autant que possible l'objet en essai, aux conditions atmosphériques ambiantes de la zone d'essai. Il convient d'enregistrer la période allouée pour atteindre l'équilibre.

### **4.2 Disposition de l'objet en essai dans les essais à sec**

Les caractéristiques de décharge disruptive d'un objet en essai qui est isolé sur l'extérieur peuvent être affectées par la disposition d'ensemble de cet objet (par exemple effets de proximité tels que la distance dans l'air par rapport aux autres structures sous tension ou à la