

NORME INTERNATIONALE

CEI 60071-2

Troisième édition
1996-12

Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application

iTech Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

IEC 60071-2:1996

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/60071-2:1996>

*Cette version **française** découle de la publication d'origine **bilingue** dont les pages anglaises ont été supprimées. Les numéros de page manquants sont ceux des pages supprimées.*



Numéro de référence
CEI 60071-2:1996(F)

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 (www.iec.ch/searchpub) 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 (www.iec.ch/online_news/justpub) 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

NORME INTERNATIONALE

CEI 60071-2

Troisième édition
1996-12

Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application

iTech Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

IEC 60071-2:1996

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/60071-2:1996>

© IEC 1996 Droits de reproduction réservés

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, 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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS.....	8
Articles	
1 Généralités.....	10
1.1 Domaine d'application.....	10
1.2 Références normatives.....	10
1.3 Liste des symboles et définitions.....	12
2 Contraintes de tension représentatives en service.....	20
2.1 Origine et classification des contraintes de tension.....	20
2.2 Caractéristiques des dispositifs de protection contre les surtensions.....	22
2.3 Tensions et surtensions représentatives.....	26
3 Tension de tenue de coordination.....	56
3.1 Caractéristiques de tenue de l'isolation.....	56
3.2 Critère de performance.....	64
3.3 Procédures de coordination de l'isolement.....	66
4 Tension de tenue spécifiée.....	82
4.1 Remarques générales.....	82
4.2 Correction atmosphérique.....	82
4.3 Facteurs de sécurité.....	86
5 Tension de tenue normalisée et procédures d'essais.....	90
5.1 Remarques générales.....	90
5.2 Facteurs de conversion d'essai.....	92
5.3 Détermination de la tenue de l'isolement par des essais de type.....	94
6 Points particuliers concernant les lignes aériennes.....	102
6.1 Remarques générales.....	102
6.2 Coordination de l'isolement vis-à-vis des tensions d'exploitation et des surtensions temporaires.....	102
6.3 Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions à front lent.....	104
6.4 Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions de foudre.....	104
7 Points particuliers concernant les postes.....	106
7.1 Remarques générales.....	106
7.2 Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions.....	110
Tableaux	
1 Lignes de fuite recommandées.....	70
2 Facteurs de conversion d'essai pour la gamme I, pour convertir les tensions de tenue spécifiées au choc de manoeuvre en tensions de tenue à fréquence industrielle de courte durée et en choc de foudre.....	92
3 Facteurs de conversion d'essai pour la gamme II, pour convertir les tensions de tenue spécifiées à fréquence industrielle de courte durée en tension de tenue au choc de manoeuvre.....	94
4 Sélectivité des procédures d'essai B et C de la CEI 60-1.....	98
A.1 Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de foudre et les distances d'air minimales.....	118
A.2 Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manoeuvre et les distances d'air phase-terre minimales.....	120
A.3 Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manoeuvre et les distances d'air phase-phase minimales.....	120
C.1 Tension d'amorçage en fonction de la probabilité d'amorçage – Isolement unique et 100 isolations en parallèle.....	134

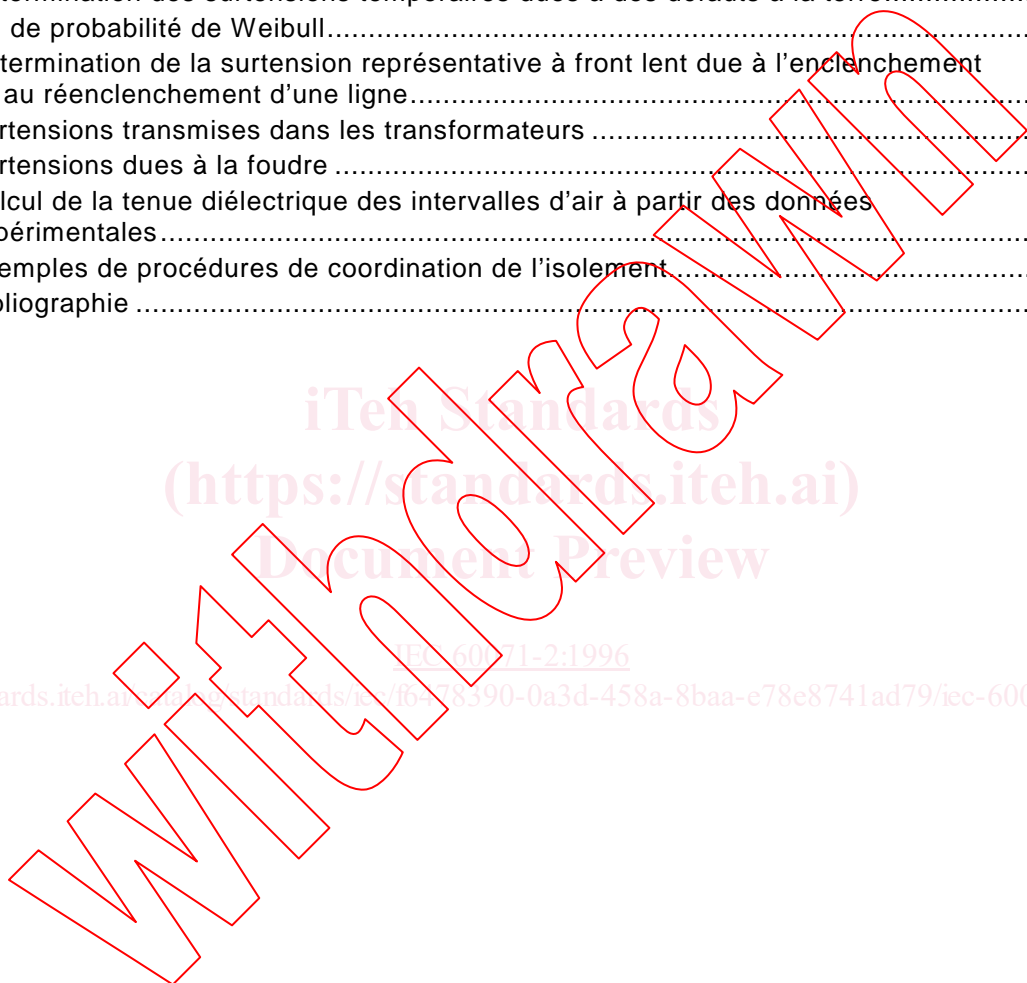
F.1	Constante d'amortissement par effet couronne K_{co}	174
F.2	Facteur A pour différents types de lignes aériennes	184
G.1	Facteurs d'intervalles K typiques pour l'amorçage phase-terre au choc de manoeuvre .	194
G.2	Facteur d'intervalle pour des géométries phase-phase typiques	196
H.1	Résumé des tensions de tenue spécifiées minimales pour l'exemple H.1.1	212
H.2	Résumé des tensions de tenue spécifiées minimales pour l'exemple H.1.2	216
H.3	Valeurs relatives à la procédure de coordination de l'isolement pour l'exemple H.3	248
Figures		
1	Plages de valeurs à 2 % des surtensions à front lent en extrémité de ligne dues à l'enclenchement ou au réenclenchement	38
2	Rapport entre les valeurs à 2 % des surtensions à front lent entre phases et phase-terre.....	40
3	Schéma du raccordement d'un parafoudre à l'objet protégé	54
4	Probabilité de décharge disruptive d'une isolation autorégénératrice sur une échelle linéaire	72
5	Probabilité de décharge disruptive d'une isolation autorégénératrice sur une échelle gaussienne.....	72
6	Evaluation du facteur de coordination déterministe K_{cd}	74
7	Evaluation du risque de défaillance.....	76
8	Risque de défaillance de l'isolation externe pour les surtensions à front lent en fonction du facteur de coordination statistique K_{cs}	80
9	Relation entre l'exposant m et la tension de tenue de coordination au choc de manoeuvre	86
10	Probabilité P qu'un matériel ait un comportement satisfaisant en essai en fonction de la différence K entre les tensions de tenue aux chocs réelle et assignée	98
11	Exemple de disposition schématique de poste utilisé pour la localisation des contraintes (voir 7.1)	106
B.1	Facteur de défaut à la terre k en fonction de X_0/X_1 pour $R_1/X_1 = R = 0$	124
B.2	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = 0$	124
B.3	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = 0,5 X_1$	126
B.4	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = X_1$	126
B.5	Relation entre R_0/X_1 et X_0/X_1 pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre k lorsque $R_1 = 2X_1$	128
C.1	Graphique de conversion donnant la réduction de la tension de tenue pour des intervalles d'air (destinés à assurer l'isolement) en parallèle.....	138
D.1	Exemple de courbes de surtensions entre phases à deux variables pour une même fonction de répartition de probabilité et des tangentes donnant les valeurs 2 % correspondantes.....	150
D.2	Principe de détermination de la surtension représentative entre phases U_{pre}	152
D.3	Configuration schématique de l'isolation phase-phase-terre	152
D.4	Description de la tension d'amorçage 50 % phase-phase-terre en onde de manoeuvre.	154

D.5	Angle d'inclinaison de la caractéristique de l'isolation entre phases dans la gamme b en fonction du rapport de la distance entre phases D à la hauteur au-dessus du sol Ht	156
E.1	Capacités réparties des enroulements d'un transformateur et circuit équivalent décrivant les enroulements	168
E.2	Valeurs du facteur J décrivant l'effet du couplage des enroulements sur la transmission des surtensions par voie inductive.....	170
Annexes		
A	Distances dans l'air assurant une tension spécifiée de tenue aux chocs dans une installation	114
B	Détermination des surtensions temporaires dues à des défauts à la terre.....	122
C	Loi de probabilité de Weibull.....	130
D	Détermination de la surtension représentative à front lent due à l'enclenchement ou au réenclenchement d'une ligne.....	140
E	Surtensions transmises dans les transformateurs	158
F	Surtensions dues à la foudre	172
G	Calcul de la tenue diélectrique des intervalles d'air à partir des données expérimentales.....	186
H	Exemples de procédures de coordination de l'isolement.....	198
J	Bibliographie	250

iTech Standards
 (https://standards.iteh.ai)
 Document Preview

[IEC 60071-2:1996](https://standards.iteh.ai/standards/iec/60071-2-1996)

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/60071-2-1996>



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 2: Guide d'application

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 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 des 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, 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 du 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 de la présente Norme internationale 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 71-2 a été établie par le comité d'études 28 de la CEI: Coordination de l'isolement.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1976, et constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
28/115/FDIS	28/117/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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B à J sont données uniquement à titre d'information.

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 2: Guide d'application

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application*

La présente partie de la CEI 71 constitue un guide d'application et concerne le choix des niveaux d'isolement des matériels ou des installations pour les réseaux triphasés. Son but est de donner des recommandations pour la détermination des tensions de tenue assignées pour les gammes I et II de la CEI 71-1 et de justifier l'association de ces valeurs assignées avec les valeurs normalisées des tensions les plus élevées pour le matériel.

Cette association ne couvre que les besoins de la coordination de l'isolement. Les exigences relatives à la sécurité des personnes ne sont pas traitées dans ce guide d'application.

Il traite des réseaux triphasés de tension nominale supérieure à 1 kV. Les valeurs qui en sont déduites ou qui y sont proposées ne sont généralement applicables qu'à ces seuls réseaux. Cependant, les principes présentés sont également valables pour les réseaux biphasés ou monophasés.

Il traite de l'isolement phase-terre, entre phases et longitudinal.

Ce guide d'application n'est pas destiné à détailler les essais de routine qui seront spécifiés par les comités de produits concernés.

Le contenu de ce guide suit strictement l'organigramme de la procédure de la coordination de l'isolement présenté à la figure 1 de la CEI 71-1. Les articles 2 à 5 correspondent à chacun des rectangles de l'organigramme et donnent des informations détaillées sur les principes de la procédure de coordination de l'isolement qui conduit à déterminer les niveaux de tenue spécifiés.

Ce guide insiste sur la nécessité de prendre en compte, dès le départ, toutes les origines, toutes les classes et tous les types de contraintes de tension en service quelle que soit la gamme de la tension la plus élevée pour le matériel. Ce n'est qu'à la fin de la procédure, au moment de sélectionner les tensions de tenue normalisées, que l'on applique le principe de couvrir une contrainte de tension particulière en service par une tension de tenue normalisée. Aussi le guide fait-il référence, à cette étape finale, aux corrélations établies dans la CEI 71-1 entre les niveaux d'isolement normalisés et la tension la plus élevée pour le matériel.

Les annexes contiennent des exemples et des informations détaillées qui expliquent ou corroborent les principes décrits dans le texte principal, et les techniques analytiques de base qui sont utilisées.

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 71. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 71 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 56: 1987, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

CEI 60-1: 1989, *Technique des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 71-1: 1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 99-1: 1991, *Parafoudres – Partie 1: Parafoudres à résistance variable avec éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 99-4: 1991, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*

CEI 99-5: 1996, *Parafoudres – Partie 5: Recommandations pour le choix et l'utilisation – Section 1: Généralités*

CEI 505: 1975, *Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique*

CEI 507: 1991, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

CEI 721-2-3: 1987, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature. Pression atmosphérique*

CEI 815: 1986, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*

1.3 Liste des symboles et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 71, les symboles suivants ainsi que leurs définitions s'appliquent. Après chaque symbole, on trouve l'unité qui est normalement utilisée. Les quantités sans dimension sont indiquées comme suit: (-).

Certaines quantités sont données en p.u. Une quantité «par unité» est le rapport entre la valeur réelle d'un paramètre électrique (tension, courant, fréquence, puissance, impédance, etc.) et une valeur de référence donnée du même paramètre.

A	(kV)	paramètre caractérisant l'influence de la sévérité de la foudre pour le matériel dépendant du type de ligne aérienne à laquelle il est raccordé.
a_1	(m)	longueur de la liaison reliant le parafoudre à la ligne.
a_2	(m)	longueur de la liaison reliant le parafoudre à la terre.
a_3	(m)	longueur du conducteur de phase entre le parafoudre et le matériel protégé.
a_4	(m)	longueur de la partie active du parafoudre.
B	(-)	facteur utilisé pour décrire la caractéristique d'amorçage entre phases.
C_e	(nF)	capacité des enroulements primaires d'un transformateur par rapport à la terre.
C_s	(nF)	capacité série des enroulements primaires d'un transformateur.
C_2	(nF)	capacité phase-terre de l'enroulement secondaire d'un transformateur.
C_{12}	(nF)	capacité entre les enroulements primaire et secondaire d'un transformateur.
C_{1in}	(nF)	capacité d'entrée équivalente des bornes des transformateurs triphasés.
C_{2in}	(nF)	capacité d'entrée équivalente des bornes des transformateurs triphasés.
C_{3in}	(nF)	capacité d'entrée équivalente des bornes des transformateurs triphasés.
c	(m/μs)	vitesse de la lumière.

c_f	(p.u.)	facteur de couplage des tensions entre câble de garde et conducteur de phase d'une ligne aérienne.
E_0	(kV/m)	gradient d'ionisation du sol.
F		fonction de répartition des amplitudes des surtensions, où $F(U) = 1 - P(U)$. Voir annexe C.3.
f		fonction décrivant la densité de probabilité des amplitudes des surtensions.
g	(-)	taux de transmission capacitive des ondes de tension.
H	(m)	altitude au-dessus du niveau de la mer.
h	(-)	facteur de tension à fréquence industrielle pour les ondes transmises dans les transformateurs.
H_t	(m)	hauteur au-dessus du sol.
I	(kA)	amplitude du courant de foudre.
I_g	(kA)	valeur limite du courant de foudre dans le calcul de la prise de terre des pylônes.
J	(-)	facteur d'enroulement pour les ondes transmises par induction dans les transformateurs.
K	(-)	facteur d'intervalle prenant en compte l'influence de la configuration de l'intervalle sur la tenue.
K_a	(-)	facteur de correction atmosphérique. [3.28 de la CEI 71-1]
K_c	(-)	facteur de coordination. [3.25 de la CEI 71-1]
K_s	(-)	facteur de sécurité. [3.29 de la CEI 71-1]
K_{cd}	(-)	facteur de coordination déterministe.
K_{co}	($\mu\text{s}/(\text{kV}\cdot\text{m})$)	constante d'atténuation par effet couronne.
K_{cs}	(-)	facteur de coordination statistique.
K_{ff}^+	(-)	facteur d'intervalle pour les impulsions à front rapide de polarité positive.
K_{ff}^-	(-)	facteur d'intervalle pour les impulsions à front rapide de polarité négative.
k	(-)	facteur de défaut à la terre. [3.15 de la CEI 71-1]
L	(m)	distance de séparation entre le parafoudre et le matériel protégé.
L_a	(m)	longueur de ligne aérienne correspondant à un taux de coupures égal au taux admissible (lié à R_a).
L_t	(m)	longueur de ligne aérienne pour laquelle le taux de coupures dues à la foudre est égal au taux de retour retenu (lié à R_t).
L_{sp}	(m)	longueur de portée.
M	(-)	nombre d'isolations en parallèle considérées être simultanément contraintes par une surtension.
m	(-)	exposant de la formule du facteur de correction atmosphérique de la tenue de l'isolation externe.
N	(-)	nombre d'écart-types entre U_{50} et U_0 pour une isolation autorégénératrice.
n	(-)	nombre de lignes aériennes considérées être raccordées au poste pour l'évaluation de l'amplitude de l'onde incidente.
P	(%)	probabilité de décharge d'une isolation autorégénératrice.
P_w	(%)	probabilité de tenue d'une isolation autorégénératrice.
q	(-)	facteur de réponse des enroulements de transformateur pour la transmission inductive des ondes.
R	(-)	risque de défaillance (défaillances par événement).
R_a	(1/a)	taux de défaillance admissible d'un appareil. Pour les lignes de transport, ce paramètre est généralement exprimé en (1/a)/100 km.

R_{nc}	(Ω)	valeur à courant fort de la résistance de prise de terre d'un pylône.
R_{km}	(1/(m.a))	taux de coupures annuel d'une ligne aérienne d'une conception correspondant au premier kilomètre après le poste.
R_{lc}	(Ω)	valeur à courant faible de la résistance de prise de terre d'un pylône.
R_p	(1/a)	taux de défaut d'écran des lignes aériennes.
R_{sf}	(1/a)	taux d'amorçage par défaut d'écran des lignes aériennes.
R_t	(1/a)	taux de retour de surtension retenu (valeur de référence).
R_u	(kV)	rayon d'un cercle dans le plan d'axes U^+/U^- décrivant les surtensions à front lent entre phases et phase-terre.
R_0	(Ω)	résistance en mode homopolaire.
R_1	(Ω)	résistance en mode direct.
R_2	(Ω)	résistance en mode inverse.
S	(kV/ μ s)	raideur d'une onde de foudre arrivant sur un poste.
S_e	(kV)	écart type de la distribution des surtensions phase-terre.
S_p	(kV)	écart type de la distribution des surtensions entre phases.
S_{rp}	(kV/ μ s)	raideur représentative d'une onde de foudre incidente.
s_e	(-)	valeur réduite de l'écart type S_e (S_e divisée par U_{e50}).
s_p	(-)	valeur réduite de l'écart type S_p (S_p divisée par U_{p50}).
T	(μ s)	temps de propagation d'une onde de foudre.
U	(kV)	amplitude d'une surtension (ou d'une tension).
U^+	(kV)	composante positive dans un essai d'isolement au choc de manoeuvre entre phases.
U^-	(kV)	composante négative dans un essai d'isolement au choc de manoeuvre entre phases.
U_0	(kV)	valeur de troncature de la fonction de probabilité d'amorçage $P(U)$ d'une isolation autorégénératrice: $P(U \leq U_0) = 0$.
U_0^+	(kV)	composante positive équivalente phase-terre utilisée pour représenter la surtension entre phases la plus contraignante.
U_{1e}	(kV)	surtension temporaire entre la terre et le neutre de l'enroulement primaire d'un transformateur.
U_{2e}	(kV)	surtension temporaire entre la terre et le neutre de l'enroulement secondaire d'un transformateur.
U_{2N}	(kV)	tension assignée de l'enroulement secondaire du transformateur.
U_{10}	(kV)	valeur de la tension d'amorçage 10 % d'une isolation autorégénératrice. Cette valeur est la tension de tenue statistique de l'isolation définie en 3.23b) de la CEI 71-1.
U_{16}	(kV)	valeur de la tension d'amorçage 16 % d'une isolation autorégénératrice.
U_{50}	(kV)	valeur de la tension d'amorçage 50 % d'une isolation autorégénératrice.
U_{50M}	(kV)	valeur de la tension d'amorçage 50 % de M isolations autorégénératrices en parallèle.
U_{50RP}	(kV)	valeur de la tension d'amorçage 50 % d'un intervalle pointe-plan.
U_c^+	(kV)	composante positive définissant le centre d'un cercle décrivant les surtensions à front lent entre phases et entre phase et terre.
U_c^-	(kV)	composante négative définissant le centre d'un cercle décrivant les surtensions à front lent entre phases et entre phase et terre.

U_{cw}	(kV)	tension de tenue de coordination du matériel. [3.24 de la CEI 71-1]
U_e	(kV)	amplitude d'une surtension phase-terre.
U_{et}	(kV)	valeur de troncature de la fonction de répartition $F(U_e)$ des surtensions phase-terre: $F(U_e \geq U_{et}) = 0$; voir annexe C.3.
U_{e2}	(kV)	valeur de la surtension phase-terre ayant une probabilité de 2 % d'être dépassée: $F(U_e \geq U_{e2}) = 0,02$; voir annexe C.3.
U_{e50}	(kV)	valeur à 50 % de la fonction de répartition $F(U_e)$ des surtensions phase-terre; voir annexe C.3.
U_l	(kV)	amplitude de l'onde de surtension de foudre incidente.
U_m	(kV)	tension la plus élevée pour le matériel. [3.10 de la CEI 71-1]
U_p	(kV)	amplitude d'une surtension entre phases.
U_{p2}	(kV)	valeur de la surtension entre phases ayant une probabilité de 2 % d'être dépassée: $F(U_p \geq U_{p2}) = 0,02$; voir annexe C.3.
U_{p50}	(kV)	valeur à 50 % de la fonction de répartition $F(U_p)$ des surtensions entre phases; voir annexe C.3.
U_s	(kV)	tension la plus élevée d'un réseau. [3.9 de la CEI 71-1]
U_w	(kV)	tension de tenue normalisée.
U_{pl}	(kV)	niveau de protection en choc de foudre d'un parafoudre. [3.21 de la CEI 71-1]
U_{ps}	(kV)	niveau de protection en choc de manoeuvre d'un parafoudre. [3.21 de la CEI 71-1]
U_{pt}	(kV)	valeur de troncature de la fonction de répartition $F(U_p)$ des surtensions phase-phase: $F(U_p \geq U_{pt}) = 0$; voir annexe C.3.
U_{rp}	(kV)	amplitude de la surtension représentative. [3.19 de la CEI 71-1]
U_{rw}	(kV)	tension de tenue assignée. [3.27 de la CEI 71-1]
U_{T1}	(kV)	surtension appliquée à l'enroulement primaire d'un transformateur produisant (par transmission) une surtension sur l'enroulement secondaire.
U_{T2}	(kV)	surtension sur l'enroulement secondaire d'un transformateur produite (par transmission) par une surtension appliquée à l'enroulement primaire.
u	(p.u.)	amplitude d'une surtension (ou d'une tension) par unité, par rapport à $U_s \sqrt{2}/\sqrt{3}$.
w	(-)	rapport de transformation d'un transformateur: tension entre phases du secondaire divisée par la tension entre phases du primaire.
X	(m)	distance entre le point d'impact de la foudre et le poste.
X_p	(km)	distance limite sur une ligne aérienne sur laquelle les événements de foudre sont à prendre en compte.
X_T	(km)	longueur de la ligne à utiliser dans les calculs simplifiés de surtension de foudre.
X_0	(Ω)	réactance en mode homopolaire d'un réseau.
X_1	(Ω)	réactance en mode direct d'un réseau.
X_2	(Ω)	réactance en mode inverse d'un réseau.
x	(-)	variable réduite d'une fonction de répartition $P(U)$ d'une isolation autorégénératrice.
x_M	(-)	variable réduite d'une fonction de répartition $P(U)$ de M isolations autorégénératrices en parallèle.
Z	(kV)	écart-type de la fonction de répartition de la probabilité d'amorçage $P(U)$ d'une isolation autorégénératrice.
Z_0	(Ω)	impédance en mode homopolaire.

Z_1	(Ω)	impédance en mode direct.
Z_2	(Ω)	impédance en mode inverse.
Z_e	(Ω)	impédance d'onde du câble de garde d'une ligne aérienne.
Z_l	(Ω)	impédance d'onde d'une ligne aérienne.
Z_M	(kV)	écart-type de la fonction de répartition de la probabilité d'amorçage $P(U)$ de M isolations autorégénératrices en parallèle.
Z_s	(Ω)	impédance d'onde du conducteur de phase d'un poste.
z	(-)	valeur normée par rapport à U_{50} de l'écart type Z .
α	(-)	rapport entre la composante négative d'une onde de manœuvre et la somme des deux composantes (positive + négative) d'une surtension entre phases.
β	(kV)	paramètre d'échelle d'une fonction cumulative de Weibull.
δ	(kV)	valeur de troncature d'une fonction cumulative de Weibull.
Φ		fonction intégrale de Gauss.
ϕ	(-)	angle d'inclinaison de la caractéristique d'un isolement entre phases.
γ	(-)	paramètre de forme d'une fonction cumulative de Weibull-3.
σ	(p.u.)	valeur par unité de l'écart type (S_e ou S_p) d'une distribution de surtensions.
ρ	(Ωm)	résistivité du sol.
τ	(μs)	constante de temps de queue d'une surtension de foudre due aux amorçages en retour sur les lignes aériennes.

2 Contraintes de tension représentatives en service

2.1 Origine et classification des contraintes de tension

La CEI 71-1 classe les contraintes de tension en fonction de paramètres appropriés, tels que la durée de la tension à la fréquence industrielle ou la forme d'une surtension, en fonction de leur effet sur l'isolation ou sur le dispositif de protection. A l'intérieur de ce classement, les contraintes de tension peuvent avoir plusieurs origines:

- les tensions permanentes (à la fréquence industrielle): elles trouvent leur origine dans l'exploitation des réseaux en conditions normales;
- les surtensions temporaires: elles peuvent être dues à des défauts, des manœuvres telles qu'une perte de charge, des conditions de résonance, des non-linéarités (ferro-résonances) ou à une combinaison de ces causes;
- les surtensions à front lent: elles peuvent être dues à des défauts, des manœuvres ou des coups de foudre directs sur les conducteurs de lignes aériennes;
- les surtensions à front rapide: elles peuvent être dues à des manœuvres, des coups de foudre ou des défauts;
- les surtensions à front très rapide: elles peuvent être dues à des défauts ou des manœuvres dans des postes sous enveloppe métallique (PSEM);
- les surtensions combinées: elles peuvent être dues à toutes les causes mentionnées ci-dessus. Elles se produisent entre les phases d'un réseau (surtension entre phases), ou sur la même phase, entre deux parties séparées d'un réseau (surtension longitudinale).

Toutes les contraintes de tension précédentes, excepté les surtensions combinées, sont détaillées séparément en 2.3. Les surtensions combinées sont présentées à l'endroit approprié, dans un ou plusieurs de ces alinéas.

Pour chaque type de contrainte de tension, la transmission à travers les transformateurs doit être prise en compte (voir annexe E).

En règle générale, toutes les classes de surtension peuvent se rencontrer dans les deux gammes de tension I et II. Cependant, l'expérience a montré que certains types de tension ont plus d'importance dans une gamme de tension donnée; ce point sera exposé dans ce guide. Dans tous les cas, il faut noter que ce sont les études détaillées, basées sur des modèles adéquats pour représenter le réseau et les caractéristiques des dispositifs de limitation des surtensions, qui permettent d'obtenir la connaissance des contraintes la meilleure (valeurs de crête et formes).

2.2 Caractéristiques des dispositifs de protection contre les surtensions

2.2.1 Remarques générales

On considère deux catégories de dispositifs de protection normalisés:

- les parafoudres à résistance non linéaire avec éclateurs en série;
- les parafoudres à oxyde métallique sans éclateur.

En outre, les éclateurs sont considérés comme un autre dispositif de limitation des surtensions, bien qu'aucune norme CEI ne leur soit consacrée. Au cas où d'autres types de dispositifs de protection seraient utilisés, les paramètres de protection doivent être indiqués par le fabricant ou déterminés au moyen d'essais. Le choix entre plusieurs types de dispositifs, fournissant des degrés de protection différents, dépend de divers facteurs: importance du matériel à protéger, conséquences d'une interruption de service, etc. Les caractéristiques de ces dispositifs seront envisagées ci-après du point de vue de la coordination de l'isolement et leurs effets seront étudiés dans les articles traitant des différentes classes de surtension.

Les dispositifs de protection doivent être conçus et installés de façon à limiter l'amplitude des surtensions sur le matériel qu'ils protègent, en vérifiant que pendant son fonctionnement, la tension aux bornes de l'ensemble dispositif de protection-conducteurs de connexion ne dépasse pas une valeur admissible. Point essentiel, la tension produite entre les bornes d'un parafoudre à tout moment avant ou pendant son fonctionnement doit être prise en compte dans la détermination des caractéristiques de protection.

2.2.2 Parafoudres à résistance non linéaire avec éclateurs en série

La CEI 99-1 indique les caractéristiques relatives aux parafoudres comprenant une résistance non linéaire en carbure de silicium avec éclateurs en série. Cependant, lorsque le parafoudre est constitué d'une résistance non linéaire à oxyde métallique avec éclateurs en série, les caractéristiques peuvent s'écarter de celles indiquées dans la CEI 99-1. Le choix des parafoudres est traité dans la CEI 99-5.

2.2.2.1 Caractéristiques de protection relatives aux surtensions à front rapide

Les caractéristiques de la protection fournie par un parafoudre sont décrites au moyen des tensions suivantes (voir tableau 8 de la CEI 99-1):

- la tension d'amorçage pour un choc de foudre plein normalisé;
- la tension résiduelle au courant de décharge nominal retenu;
- la tension d'amorçage sur le front d'onde.