

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60826

Troisième édition
Third edition
2003-10

**Critères de conception des lignes
aériennes de transport**

**Design criteria of overhead
transmission lines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60826:2003

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

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60826

Troisième édition
Third edition
2003-10

**Critères de conception des lignes
aériennes de transport**

**Design criteria of overhead
transmission lines**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de 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

CODE PRIX
PRICE CODE **XF**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	10
1 Domaine d'application.....	14
2 Références normatives	14
3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés.....	16
3.1 Termes et définitions	16
3.2 Symboles et termes abrégés.....	20
4 Principes généraux	26
4.1 Objectif.....	26
4.2 Conception du système	28
4.3 Fiabilité du système.....	28
5 Critères généraux de conception	30
5.1 Méthodologie.....	30
5.2 Prescriptions relatives à la relation charge climatique/résistance.....	36
6 Charges.....	40
6.1 Description	40
6.2 Charges climatiques, vent et températures associées.....	42
6.3 Charges climatiques, givre sans vent.....	60
6.4 Charges climatiques, vent et givre combinés	70
6.5 Charges de construction et d'entretien (sécurité du personnel)	78
6.6 Charges à prendre en compte pour la limitation des défaillances (sécurité structurale).....	82
7 Résistance des composants et états limites.....	86
7.1 Généralités.....	86
7.2 Equations générales de résistance des composants	88
7.3 Données relatives au calcul des composants.....	92
Annexe A (informative) Informations techniques.....	102
A.1 Relations entre charge et résistance	102
A.2 Résistance des composants de ligne	142
A.3 Mesurage des températures et interprétation des mesures.....	144
A.4 Détermination de la vitesse de référence météorologique du vent.....	148
A.5 Givrage atmosphérique	166
A.6 Charges de vent et de givre combinées.....	180
Annexe B (informative) Application des fonctions de distribution statistique au calcul de la charge et de la résistance des lignes aériennes.....	184
B.1 Généralités	184
B.2 Charges climatiques.....	184
B.3 Résistance des composants.....	196
B.4 Effet de la variation des portées sur la relation charge-résistance – Calcul du facteur d'utilisation de portée	200

CONTENTS

FOREWORD	11
1 Scope	15
2 Normative references.....	15
3 Terms, definitions, symbols and abbreviations	17
3.1 Terms and definitions	17
3.2 Symbols and abbreviations	21
4 General	27
4.1 Objective	27
4.2 System design	29
4.3 System reliability	29
5 General design criteria.....	31
5.1 Methodology.....	31
5.2 Climatic load-strength requirements.....	37
6 Loadings.....	41
6.1 Description	41
6.2 Climatic loads, wind and associated temperatures	43
6.3 Climatic loads, ice without wind	61
6.4 Climatic loads, combined wind and ice loadings	71
6.5 Loads for construction and maintenance (safety loads).....	79
6.6 Loads for failure containment (security requirements).....	83
7 Strength of components and limit states	87
7.1 Generalities	87
7.2 General equations for the strength of components	89
7.3 Data related to the calculation of components.....	93
Annex A (informative) Technical information	103
A.1 Relations between load and strength.....	103
A.2 Strength of line components.....	143
A.3 Temperature measurements and their interpretation	145
A.4 Determination of the meteorological reference wind speed.....	149
A.5 Atmospheric icing.....	167
A.6 Combined wind and ice loadings	181
Annex B (informative) Application of statistical distribution functions to load and strength of overhead lines	185
B.1 General.....	185
B.2 Climatic loads	185
B.3 Strength of components	197
B.4 Effect of span variation on load-strength relationship – Calculation of span use factor	201

Annexe C (informative) Distributions statistiques et leur application à la conception probabiliste des lignes de transport.....	214
C.1 Distributions statistiques classiques.....	214
C.2 Distribution normale (distribution de Gauss).....	214
C.3 Distribution log-normale	218
C.4 Distribution de Gumbel.....	222
C.5 Distribution de Weibull	226
C.6 Distribution gamma	230
C.7 Distribution bêta, premier type	236
C.8 La fonction gamma et ses relations	240
Figure 1 – Schéma d'une ligne de transport	28
Figure 2 – Méthodologie pour la conception des lignes de transport.....	32
Figure 3 – Facteur combiné de vent G_C pour les conducteurs, en fonction de différentes catégories de terrains et hauteurs au-dessus du sol	50
Figure 4 – Facteur de portée G_L	50
Figure 5 – Facteur combiné de vent G_t applicable aux supports et aux chaînes d'isolateurs	52
Figure 6 – Définition de l'angle d'incidence du vent.....	56
Figure 7 – Coefficient de traînée C_{xt} pour les supports réalisés en treillis composés de barres à bords plats	56
Figure 8 – Coefficient de traînée C_{xt} pour les supports réalisés en treillis et composés de barres arrondies.....	58
Figure 9 – Coefficient de traînée C_{xtC} d'éléments cylindriques de diamètre important	60
Figure 10 – Facteur K_d relatif au diamètre du conducteur	64
Figure 11 – Facteur K_h relatif à la hauteur des conducteurs.....	66
Figure 12 – Types de supports.....	68
Figure 13 – Forme cylindrique équivalente du dépôt de givre	76
Figure 14 – Simulation de la charge longitudinale exercée sur un conducteur (pour un support à un seul circuit).....	86
Figure 15 – Schéma des états limites des composants de lignes.....	88
Figure A.1 – Relations entre charge et résistance	104
Figure A.2 – Relations entre charge et résistance	118
Figure A.3 – Probabilité de défaillance $P_f = (1 - P_s)$ pour différentes distributions de Q et R , avec $T = 50$ ans.....	120
Figure A.4 – Probabilité de défaillance $P_f = (1 - P_s)$ pour différentes distributions de Q et R , avec $T = 150$ ans.....	120
Figure A.5 – Probabilité de défaillance $P_f = (1 - P_s)$ pour différentes distributions de Q et R , avec $T = 500$ ans.....	122
Figure A.6 – Coordination de résistance par le recours à des limites d'exclusion différentes.....	132
Figure A.7 – Relation entre les vitesses météorologiques du vent à 10 m de hauteur, en fonction de la catégorie de terrain et de la période d'intégration.....	152
Figure A.8 – Action du vent sur les conducteurs et charge de vent résultante sur le support.....	160

Annex C (informative) Statistical distribution and their application in probabilistic design of transmission lines	215
C.1 Classical statistical distributions.....	215
C.2 Normal distribution (Gaussian distribution).....	215
C.3 Log-normal distribution.....	219
C.4 Gumbel distribution	223
C.5 Weibull distribution.....	227
C.6 Gamma distribution	231
C.7 Beta distribution, first type	237
C.8 Gamma function and its relationships.....	241
Figure 1 – Diagram of a transmission line	29
Figure 2 – Transmission line design methodology	33
Figure 3 – Combined wind factor G_C for conductors for various terrain categories and heights above ground.....	51
Figure 4 – Span factor G_L	51
Figure 5 – combined wind factor G_t applicable to supports and insulator strings	53
Figure 6 – Definition of the angle of incidence of wind.....	57
Figure 7 – Drag coefficient C_{xt} for lattice supports made of flat sided members	57
Figure 8 – Drag coefficient C_{xt} for lattice supports made of rounded members.....	59
Figure 9 – Drag coefficient C_{xtc} of cylindrical elements having a large diameter	61
Figure 10 – Factor K_d related to the conductor diameter	65
Figure 11 – Factor K_h related to the conductor height	67
Figure 12 – Typical support types.....	69
Figure 13 – Equivalent cylindrical shape of ice deposit.....	77
Figure 14 – Simulated longitudinal conductor load (case of a single circuit support).....	87
Figure 15 – Diagram of limit states of line components.....	89
Figure A.1 – Relations between load and strength.....	105
Figure A.2 – Relations between loads and strengths	119
Figure A.3 – Failure probability $P_f = (1 - P_s)$ for various distributions of Q and R , for $T = 50$ years.....	121
Figure A.4 – Failure probability $P_f = (1 - P_s)$ for various distributions of Q and R , for $T = 150$ years.....	121
Figure A.5 – Failure probability $P_f = (1 - P_s)$ for various distributions of Q and R , for $T = 500$ years.....	123
Figure A.6 – Coordination of strength by using different exclusion limits	133
Figure A.7 – Relationship between meteorological wind velocities at a height of 10 m depending on terrain category and on averaging period	153
Figure A.8 – Wind action on conductors and resultant wind load on support.....	161

Figure A.9 – Types de givre formé par le brouillard givrant, en fonction de la vitesse du vent et de la température	172
Figure A.10 – Synoptique de la stratégie d'utilisation de données météorologiques, des modèles de givrage et des mesures sur site des charges de givre	176
Figure B.1 – Ajustement de la distribution de Gumbel avec un histogramme des données de vent.....	186
Figure B.2 – Ajustement de la distribution de Gumbel et d'un histogramme des températures minimales annuelles	192
Figure B.3 – Ajustement de la distribution gamma et d'un histogramme de charge de givre.....	194
Figure B.4 – Ajustement de données relatives au brouillard givrant à la distribution de Gumbel	196
Figure B.5 – Ajustement de la distribution de Weibull aux données sur la résistance des supports en treillis	198
Figure C.1 – Fonction de densité de probabilité de la distribution normale standardisée	218
Figure C.2 – Fonction de densité de probabilité de la distribution log-normale standardisée	222
Figure C.3 – Fonction de densité de probabilité de la distribution de Gumbel standardisée	226
Figure C.4 – Fonction de densité de probabilité de la distribution de Weibull standardisée pour un paramètre $p_3 = 0,5; 1,0$ et $2,0$	230
Figure C.5 – Fonction de densité de probabilité de la distribution gamma standardisée pour un paramètre $p_3 = 0,5; 1,0$ et $2,0$	234
Figure C.6 – Fonction de densité de probabilité de la distribution bêta standardisée pour des paramètres $r = 5,0$, $t = 5,5; 6,0$ et $7,0$	238
Tableau 1 – Niveaux de fiabilité relatifs aux lignes de transport	34
Tableau 2 – Facteurs γ utilisables par défaut pour ajuster les charges climatiques par rapport à la période de retour T de 50 ans	38
Tableau 3 – Prescriptions de conception du système	38
Tableau 4 – Classification des catégories de terrain.....	44
Tableau 5 – Facteur de correction τ de la pression dynamique du vent de référence q_0 due à l'altitude et aux températures	46
Tableau 6 – Cas de charge de givre non uniformes.....	70
Tableau 7 – Période de retour de la charge combinant vent et givre.....	72
Tableau 8 – Coefficient de traînée des conducteurs givrés	76
Tableau 9 – Dispositions de sécurité structurale supplémentaires	86
Tableau 10 – Nombre de supports soumis à l'intensité de charge maximale pendant un événement climatique quelconque.....	88
Tableau 11 – Facteur de résistance ϕ_N lié au nombre N de composants ou d'éléments exposés à la charge critique.....	90
Tableau 12 – Valeurs de ϕ_{S2}	90
Tableau 13 – Coordination de résistance typique de composants d'une ligne.....	92
Tableau 14 – Limites d'endommagement et de défaillance des supports	92
Tableau 15 – Limites d'endommagement et de défaillance des fondations	94
Tableau 16 – Limites d'endommagement et de défaillance des conducteurs et câbles de garde	94
Tableau 17 – Limites d'endommagement et de défaillance des composants d'interface	96

Figure A.9 – Type of accreted in-cloud icing as a function of wind speed and temperature	173
Figure A.10 – Strategy flow chart for utilizing meteorological data, icing models and field measurements of ice loads	177
Figure B.1 – Fitting of Gumbel distribution with wind data histogram	187
Figure B.2 – Fitting of Gumbel distribution with yearly minimum temperature histogram	193
Figure B.3 – Fitting of Gamma distribution with ice load histogram	195
Figure B.4 – Fitting data from in-cloud icing with Gumbel distribution	197
Figure B.5 – Fitting of Weibull distribution with strength data of lattice supports	199
Figure C.1 – Probability density function of standardized normal distribution	219
Figure C.2 – Probability density function of standardized log-normal distribution	223
Figure C.3 – Probability density function of standardized Gumbel distribution	227
Figure C.4 – Probability density function of standardized Weibull distribution for parameter $p_3 = 0,5; 1,0$ and $2,0$	231
Figure C.5 – Probability density function of standardized Gamma distribution for parameter $p_3 = 0,5; 1,0$ and $2,0$	235
Figure C.6 – Probability density function of standardized beta distribution for parameters $r = 5,0$, $t = 5,5; 6,0$ and $7,0$	239
Table 1 – Reliability levels for transmission lines	35
Table 2 – Default γ_T factors for adjustment of climatic loads in relation to return period T vs. 50 years	39
Table 3 – Design requirements for the system	39
Table 4 – Classification of terrain categories	45
Table 5 – Correction factor τ of dynamic reference wind pressure q_0 due to altitude and temperatures	47
Table 6 – Non-uniform ice loading conditions	71
Table 7 – Return period of combined ice and wind load	73
Table 8 – Drag coefficients of ice-covered conductors	77
Table 9 – Additional security measures	87
Table 10 – Number of supports subjected to maximum load intensity during any single occurrence of a climatic event	89
Table 11 – Strength factor ϕ_N related to the number N of components or elements subjected to the critical load intensity	91
Table 12 – Values of ϕ_{S2}	91
Table 13 – Typical strength coordination of line components	93
Table 14 – Damage and failure limits of supports	93
Table 15 – Damage and failure limits of foundations	95
Table 16 – Damage and failure limits of conductors and ground wires	95
Table 17 – Damage and failure limit of interface components	97

Tableau 18 – Valeurs par défaut des coefficients de variation (c.v.) de la résistance.....	96
Tableau 19 – Facteurs u pour la fonction de distribution log-normale lorsque $e = 10\%$	98
Tableau 20 – Valeur du facteur de qualité Φ_Q pour les pylônes à treillis	98
Tableau A.1 – Fiabilité annuelle correspondant à différentes hypothèses de charge et de résistance	116
Tableau A.2 – Relation entre niveaux de fiabilité et périodes de retour des charges limites	124
Tableau A.3 – Coordination de résistance typique.....	128
Tableau A.4 – Valeurs du coefficient central de sécurité α et du facteur de coordination de résistance Φ_S nécessaires pour assurer avec une probabilité de 90 % que la défaillance du composant R_2 n'interviendra qu'après celle du composant R_1	136
Tableau A.5 – Facteur de résistance Φ_N relatif à N composants en série soumis à la charge critique	142
Tableau A.6 – Valeurs de u_e associées aux limites d'exclusion.....	144
Tableau A.7 – Définition des catégories de terrain	150
Tableau A.8 – Facteurs décrivant l'action du vent en fonction de la catégorie de terrain	152
Tableau A.9 – Valeurs de la vitesse de référence du vent V_R	156
Tableau A.10 – Propriétés physiques du givre.....	170
Tableau A.11 – Paramètres météorologiques influençant la formation du givre	172
Tableau A.12 – Paramètres statistiques des charges de givre.....	178
Tableau A.13 – Charges de vent et de givre combinées.....	182
Tableau A.14 – Coefficients de traînée et densité des conducteurs givrés.....	182
Tableau B.1 – Rapports de $x / \bar{x}$ pour une fonction de distribution de Gumbel, T correspondant à la période de retour en années de l'événement de charge, n au nombre d'années comportant des observations et v_x au coefficient de variation.....	192
Tableau B.2 – Paramètres d'une distribution de Weibull.....	198
Tableau B.3 – Paramètres statistiques $\bar{U}$ et σ_U pour la variation des portées vent.....	202
Tableau B.4 – Paramètres statistiques $\bar{U}$ et σ_U pour la variation des portées-poids.....	204
Tableau B.5 – Valeurs du coefficient du facteur d'utilisation γ_U en fonction de U et N pour $v_R = 0,10$	208
Tableau B.6 – Coefficient du facteur d'utilisation γ_U pour différents coefficients de variation de la résistance	210
Tableau C.1 – Paramètres C_1 et C_2 de la distribution de Gumbel	226
Tableau C.2 – Valeurs de u_1 pour des valeurs données de la fonction $F(u_1) = I(u_1, p_3 - 1)$	234

Table 18 – Default values for strength coefficients of variation (COV)	97
Table 19 – u factors for log-normal distribution function for $e = 10\%$	99
Table 20 – Value of quality factor ϕ_Q for lattice towers	99
Table A.1 – Yearly reliability corresponding to various assumptions of load and strength ...	117
Table A.2 – Relationship between reliability levels and return periods of limit loads	125
Table A.3 – Typical strength coordination	129
Table A.4 – Values of central safety factor α and strength coordination factor ϕ_S required to insure that component R_2 will fail after component R_1 with a 90 % probability	137
Table A.5 – Strength factor ϕ_N related to N components in series subjected to the critical load	143
Table A.6 – Values of u_e associated to exclusion limits	145
Table A.7 – Definition of terrain category	151
Table A.8 – Factors describing wind action depending on terrain category	153
Table A.9 – Values of reference wind speed V_R	157
Table A.10 – Physical properties of ice	171
Table A.11 – Meteorological parameters controlling ice accretion	173
Table A.12 – Statistical parameters of ice loads	179
Table A.13 – Combined wind and ice loading conditions	183
Table A.14 – Drag coefficients and density of ice-covered conductors	183
Table B.1 – Ratios of $x / \bar{x}$ for a Gumbel distribution function, T return period in years of loading event, n number of years with observations, v_x coefficient of variation	193
Table B.2 – Parameters of Weibull distribution	199
Table B.3 – Statistical parameters $\bar{U}$ and σ_U of wind span variation	203
Table B.4 – Statistical parameters $\bar{U}$ and σ_U of weight span variation	205
Table B.5 – Values of use factor coefficient γ_U as a function of U and N for $v_R = 0,10$	209
Table B.6 – Use factor coefficient γ_U for different strength coefficients of variation	211
Table C.1 – Parameters C_1 and C_2 of Gumbel distribution	227
Table C.2 – Values of u_1 for given values of function $F_{(u_1)} = I(u_1, p_3 - 1)$	235

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CRITÈRES DE CONCEPTION DES LIGNES AÉRIENNES DE TRANSPORT

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60826 a été établie par le comité d'études 11 de la CEI: Lignes aériennes.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue comme rapport technique en 1991. Elle constitue une révision technique qui conduit au statut de Norme internationale.

Cette révision consiste principalement en la division de la norme en deux parties, une normative et une autre informative, en plus d'une simplification de son contenu et de l'amélioration de certaines exigences de conception en conformité avec les récents progrès technologiques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DESIGN CRITERIA OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60826 has been prepared by IEC technical committee 11: Overhead lines.

This third edition cancels and replaces the second edition which was issued as a technical report in 1999. It constitutes a technical revision and now have the status of an International Standard.

This revision consists mainly of splitting the standard into two sections, normative and informative, in addition to simplifying its contents and improving some specific design requirements in accordance with recent technical advances.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
11/175/FDIS	11/177/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

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

Withdrawn

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
11/175/FDIS	11/177/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard 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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

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

Withdrawn

CRITÈRES DE CONCEPTION DES LIGNES AÉRIENNES DE TRANSPORT

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les critères de charge et de résistance mécanique des lignes aériennes en s'inspirant de principes de conception fondés sur la fiabilité. Ces critères sont valables pour les lignes présentant une tension nominale supérieure ou égale à 45 kV, mais peuvent aussi s'appliquer aux lignes dont la tension nominale est plus faible.

La présente norme sert également de cadre à l'élaboration de normes nationales traitant des lignes de transport à partir de notions de fiabilité et au moyen de méthodes probabilistes ou semi-probabilistes. Il incombera à ces normes nationales de déterminer les données climatiques locales à prendre en compte pour l'utilisation et l'application de la présente norme, en sus des autres données spécifiquement nationales.

Les critères de calcul énoncés dans la présente norme s'appliquent aux lignes nouvelles, mais un grand nombre des notions abordées peuvent également servir à répondre aux exigences de fiabilité des lignes existantes qui ont besoin d'être renouvelées ou dont les performances sont à améliorer.

Cette norme ne porte pas sur les détails de conception de composants de lignes tels que pylônes, fondations, conducteurs ou isolateurs.

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 60652:2002, *Essais mécaniques des structures de lignes aériennes*

CEI 61089:1991, *Conducteurs pour lignes aériennes à brins circulaires, câblés en couches concentriques*

CEI 61773:1996, *Lignes aériennes – Essais de fondations des supports*

CEI 61774:1997, *Lignes aériennes – Données météorologiques pour calculer les charges climatiques*

CEI 61284:1997, *Lignes aériennes – Exigences et essais pour le matériel d'équipement*

DESIGN CRITERIA OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES

1 Scope

This International Standard specifies the loading and strength requirements of overhead lines derived from reliability based design principles. These requirements apply to lines 45 kV and above, but can also be applied to lines with a lower nominal voltage.

This standard also provides a framework for the preparation of national standards dealing with overhead transmission lines, using reliability concepts and employing probabilistic or semi-probabilistic methods. These national standards will need to establish the local climatic data for the use and application of this standard, in addition to other data that are country specific.

Although the design criteria in this standard apply to new lines, many concepts can be used to address the reliability requirements for refurbishment and uprating of existing lines.

This standard does not cover the detailed design of line components such as towers, foundations, conductors or insulators.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60652:2002, *Loading tests on overhead line structures*

IEC 61089:1991, *Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors*

IEC 61773:1996, *Overhead lines – Testing of foundations for structures*

IEC 61774:1997, *Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads*

IEC 61284:1997, *Overhead lines – Requirements and tests for fittings*

3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés

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

3.1 Termes et définitions

3.1.1

résistance caractéristique

résistance garantie, résistance minimale, charge de rupture minimale

R_c

valeur garantie dans les normes applicables

NOTE Cette valeur est généralement assortie d'une limite d'exclusion comprise entre 2 % et 5 %, 10 % étant en pratique la limite supérieure (raisonnable).

3.1.2

coefficient de variation

c.v.

rapport entre l'écart type et la valeur moyenne

NOTE Les c.v. de résistance et de charge sont respectivement notés v_Q et v_R .

3.1.3

composants

différentes parties d'un système de ligne de transport ayant une fonction particulière

NOTE Les composants types sont les pylônes, les fondations, les conducteurs et les chaînes d'isolateurs.

3.1.4

limite d'endommagement (d'un composant)

état limite de service

résistance limite d'un composant, correspondant à un plafond défini de déformation permanente (ou inélastique) au-delà duquel le système est endommagé

NOTE Cette limite est aussi appelée état limite de service dans les codes de la construction fondés sur le calcul aux états limites.

3.1.5

état d'endommagement (du système)

état dans lequel il y a lieu de réparer le système parce qu'un de ses composants a dépassé sa limite d'endommagement

NOTE Il y a besoin de faire cette réparation du fait que ce système n'est plus capable de remplir la fonction qui lui est assignée sous les charges de conception ou par suite d'une réduction éventuelle des distances de conception (au sol ou à la masse, notamment).

3.1.6

éléments

différentes parties d'un composant

NOTE Par exemple, les éléments d'un pylône en treillis sont les cornières en acier, les goussets et les boulons.

3.1.7

limite d'exclusion

e %

valeur d'une variable prise à partir de sa fonction de distribution et correspondant à une probabilité de e % de ne pas être dépassée

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

For the purposes of this document, the following terms, definitions, symbols and abbreviations apply.

3.1 Terms and definitions

3.1.1

characteristic strength

guaranteed strength, minimum strength, minimum failing load

R_c

value guaranteed in appropriate standards

NOTE This value usually corresponds to an exclusion limit, from 2 % to 5 %, with 10 % being an upper practical (and conservative) limit.

3.1.2

coefficient of variation

COV

ratio of the standard deviation to the mean value

NOTE The COV of load and strength are respectively denoted by v_Q and v_R .

3.1.3

components

different parts of a transmission line system having a specified purpose

NOTE Typical components are towers, foundations, conductors and insulator strings.

3.1.4

damage limit (of a component)

serviceability limit state

strength limit of a component corresponding to a defined limit of permanent (or inelastic) deformation of this component which leads to damage to the system if it is exceeded

NOTE This limit is also called the serviceability limit state in building codes based on limit states design.

3.1.5

damage state (of the system)

state where the system needs repairing because one of its components has exceeded its damage limit

NOTE The system needs repairing because it is not capable of fulfilling its task under design loads or because design clearances may be reduced (e.g. conductor to ground).

3.1.6

elements

different parts of a component

NOTE For example, the elements of a steel lattice tower are steel angles, plates and bolts.

3.1.7

exclusion limit

e %

value of a variable taken from its distribution function and corresponding to a probability of e % of not being exceeded

3.1.8

limite de rupture (d'un composant)

état limite ultime

résistance limite d'un composant causant la défaillance du système en cas de dépassement

NOTE Si cette résistance est dépassée, le système passe à une condition dite « état limite ultime » telle que définie dans les codes de la construction fondés sur le calcul aux états limites.

3.1.9

état de rupture (du système)

état d'un système dans lequel un composant majeur est défectueux parce qu'un de ses composants a atteint sa limite de rupture (par suite d'une rupture, d'un flambement ou d'un renversement, par exemple)

NOTE Cet état empêche la ligne de transporter de l'énergie et impose une réparation.

3.1.10

état intact

état dans lequel un système peut accomplir sa fonction et supporter les charges limites de conception

3.1.11

charges limites

charges climatiques correspondant à une période de retour, T , et utilisée à des fins de conception, sans facteurs de charge supplémentaires

NOTE Voir 5.2.1.

3.1.12

facteur de charge

γ

facteur que l'on multiplie par les charges limites pour concevoir les composants de lignes

3.1.13

durée d'exploitation

mesure générale de la durée de vie utile (ou économique)

NOTE Les durées d'exploitation types des lignes de transport varient de 30 ans à 80 ans.

3.1.14

vitesse de référence du vent

V_R

vitesse du vent à une hauteur de 10 m correspondant à une période d'intégration moyenne de 10 min et présentant une période de retour T

NOTE Lorsque cette vitesse du vent est mesurée sur un terrain de rugosité B, ce qui est le cas le plus courant dans le secteur, la vitesse de référence du vent est notée V_{RB} .

3.1.15

fiabilité (structurale)

probabilité pour un système de remplir une fonction donnée dans certaines conditions d'exploitation pendant une période spécifiée

NOTE La fiabilité est, par conséquent, une mesure de la capacité du système d'accomplir sa tâche. Le complémentaire de la fiabilité est la probabilité de défaillance ou défiabilité.

3.1.16

période de retour (d'un événement climatique)

intervalle moyen de récurrence d'un événement climatique d'une intensité définie

NOTE L'inverse de la période de retour est la fréquence annuelle qui correspond à la probabilité de dépassement de cet événement climatique dans une année.

3.1.8**failure limit (of a component)**

ultimate limit state

strength limit of a component which leads to the failure of the system if this limit is exceeded.

NOTE If this strength limit is exceeded, the system will reach a state called “ultimate limit state” as defined in building codes based on limit states design.

3.1.9**failure state (of the system)**

state of a system in which a major component has failed because one of its components has reached its failure limit (such as by rupture, buckling, overturning)

NOTE This state leads to the termination of the ability of the line to transmit power and needs to be repaired.

3.1.10**intact state**

state in which a system can accomplish its required function and can sustain limit loads

3.1.11**limit loads**

climatic loads corresponding to a return period, T , used for design purposes without additional load factors

NOTE Refer to 5.2.1.

3.1.12**load factor**

γ

factor to be multiplied by limit loads in order to design line components

3.1.13**operating period**

general measure of useful (or economical) life

NOTE Typical operating periods of transmission lines vary from 30 years to 80 years.

3.1.14**reference wind speed**

V_R

wind speed at 10 m in height, corresponding to an averaging period of 10 min and having a return period T

NOTE When this wind speed is taken in a terrain type B, which is the most common case in the industry, the reference wind speed is identified as V_{RB} .

3.1.15**reliability (structural)**

probability that a system performs a given task, under a set of operating conditions, during a specified time

NOTE Reliability is thus a measure of the success of a system in accomplishing its task. The complement to reliability is the probability of failure or unreliability.

3.1.16**return period (of a climatic event)**

average occurrence of a climatic event having a defined intensity

NOTE The inverse of the return period is the yearly frequency which corresponds to the probability of exceeding this climatic event in a given year.

3.1.17

sécurité

capacité d'un système à ne pas provoquer des dommages corporels ou des pertes de vies humaines

NOTE Dans le cadre de la présente norme, ce terme se rapporte principalement à la protection du personnel lors des travaux de construction et d'entretien. La sécurité du public et de l'environnement en général est couverte par les réglementations nationales.

3.1.18

sécurité (structurale)

capacité d'un système à se protéger contre une avarie majeure (effet de cascade) à la suite de la défaillance d'un composant donné

NOTE La sécurité structurale est une notion déterministe, tandis que la fiabilité est une notion probabiliste.

3.1.19

facteur de résistance

Φ

facteur applicable à la résistance caractéristique d'un composant

NOTE Ce facteur tient compte de la coordination de résistance, du nombre de composants soumis à la charge maximale, de la qualité et des paramètres statistiques des composants.

3.1.20

système

ensemble de composants reliés entre eux pour former la ligne de transport

3.1.21

tâche

fonction du système (ligne de transport), à savoir transporter de l'énergie entre ses deux extrémités

3.1.22

indisponibilité

incapacité d'un système à accomplir sa tâche

NOTE L'indisponibilité des lignes de transport peut être due à un manque de fiabilité structurale (défiabilité) ainsi qu'à une défaillance due à d'autres événements tels que glissements de terrain, impacts d'objets, sabotage ou défauts des matériaux.

3.1.23

facteur d'utilisation

rapport entre la charge réelle (in situ) et la charge limite d'un composant

NOTE Pour les pylônes de suspension, il est approximativement égal au rapport entre les portées réelles et les portées-poids et vent maximales; pour les pylônes d'angle, il inclut également le rapport des sinus des demi-angles en ligne (angle réel par rapport à l'angle de calcul).

3.2 Symboles et termes abrégés

a	Action unitaire de la vitesse du vent sur les éléments de ligne (Pa ou N/m ²)
A_c	Force du vent agissant sur un conducteur (N)
A_i	Force du vent agissant sur un isolateur (N)
A_t	Force du vent agissant sur un tronçon de pylône composé de cornières en acier, A_{tc} pour celle agissant sur les barres cylindriques (N)
B_i	Facteur de réduction de la vitesse de référence du vent en présence combinée de vent et de givre

3.1.17**safety**

ability of a system not to cause human injuries or loss of lives

NOTE In this standard, safety relates mainly to protection of workers during construction and maintenance operations. The safety of the public and of the environment in general is covered by national regulations.

3.1.18**security (structural)**

ability of a system to be protected from a major collapse (cascading effect) if a failure is triggered in a given component

NOTE Security is a deterministic concept as opposed to reliability which is a probabilistic concept.

3.1.19**strength factor**

ϕ

factor applied to the characteristic strength of a component

NOTE This factor takes into account the coordination of strength, the number of components subjected to maximum load, quality and statistical parameters of components.

3.1.20**system**

set of components connected together to form the transmission line

3.1.21**task**

function of the system (transmission line), i.e. to transmit power between its two ends

3.1.22**unavailability**

inability of a system to accomplish its task

NOTE Unavailability of transmission lines results from structural unreliability as well as from failure due to other events such as landslides, impact of objects, sabotage, defects in material, etc.

3.1.23**use factor**

ratio of the actual load (as built) to limit load of a component

NOTE For tangent towers, it is virtually equal to the ratio of actual to maximum design spans (wind or weight) and for angle towers, it also includes the ratio of the sines of the half angles of deviation (actual to design angles).

3.2 Symbols and abbreviations

a	Unit action of wind speed on line elements (Pa or N/m ²)
A_c	Wind force on conductors (N)
A_i	Wind force on insulators (N)
A_t	Wind force acting on a tower panel made of steel angles, A_{tc} for cylindrical tower members (N)
B_i	Reduction factor of the reference wind speed for wind and ice combinations

C_x	Coefficient de traînée (forme générale)
C_i	Coefficient de traînée des conducteurs givrés (C_{iL} en cas de faible probabilité, et C_{iH} en cas de probabilité élevée)
C_{xc}	Coefficient de traînée des conducteurs
C_{xi}	Coefficient de traînée des isolateurs
C_{xt}	Coefficient de traînée des supports C_{xt1} , C_{xt2} pour chaque face du pylône (C_{xtc} pour les barres cylindriques)
c.v.	Coefficient de variation, également représenté par v_x (rapport de l'écart type à la valeur moyenne)
d	Diamètre du conducteur (m)
d_{tc}	Diamètre des barres cylindriques du pylône (m)
D	Diamètre équivalent des conducteurs givrés (D_H en cas de probabilité élevée et D_L en cas de faible probabilité) (m)
e	Limite d'exclusion (%)
e_N	Limite d'exclusion de N composants en série (%)
$f_{(x)}$	Fonction de densité de probabilité de la variable x
$F_{(x)}$	Fonction de répartition de la variable x
G	Facteur de vent (forme générale)
G_c	Facteur combiné de vent des conducteurs
G_t	Facteur combiné de vent des pylônes
G_L	Facteur de portée pour les calculs du vent
g	Poids unitaire du givre (N/m)
$\bar{g}$	Valeur moyenne de la charge maximale annuelle de givre (N/m)
g_{max}	Poids maximal du givre observé par unité de longueur sur un certain nombre d'années (N/m)
g_R	Poids de conception de référence du givre (N/m)
g_H	Charge de givre assortie d'une probabilité d'occurrence élevée (N/m)
g_L	Charge de givre assortie d'une faible probabilité d'occurrence (N/m)
h	Hauteur du centre de gravité d'un tronçon faisant partie d'un pylône en treillis (m)
K_R	Coefficient de rugosité du terrain
K_d	Facteur relatif à l'influence du diamètre du conducteur
K_h	Facteur à multiplier par $\bar{g}$ pour rendre compte de l'influence de la hauteur des conducteurs au-dessus du sol
K_n	Facteur à multiplier par $\bar{g}$ pour rendre compte de l'influence du nombre d'années où le givre a été mesuré
l_e	Longueur d'une barre de support (m)
L	Longueur de portée ou portée-vent (m)
L_m	Portée moyenne (m)
n	Nombre d'années d'observation d'un événement climatique
N	Nombre de composants soumis à l'intensité de charge maximale
P_f	Probabilité de défaillance (%)
P_{fi}	Probabilité de défaillance du composant i (%)
P_s	Probabilité de survie (%)
P_{si}	Probabilité de survie du composant i (%)

C_x	Drag coefficient (general form)
C_i	Drag coefficient of ice covered conductors (C_{iL} for low probability and C_{iH} for a high probability)
C_{xc}	Drag coefficient of conductors
C_{xi}	Drag coefficient of insulators
C_{xt}	Drag coefficient of supports C_{xt1} , C_{xt2} for each tower face (C_{xtc} on cylindrical tower members)
COV	Coefficient of variation, also identified as v_x (ratio of standard deviation to mean value)
d	Conductor diameter (m)
d_{tc}	Diameter of cylindrical tower members (m)
D	Equivalent diameter of ice covered conductors (D_H for high probability and D_L for low probability) (m)
e	Exclusion limit (%)
e_N	Exclusion limit of N components in series (%)
$f_{(x)}$	Probability density function of variable x
$F_{(x)}$	Cumulative distribution function of variable x
G	Wind factor (general form)
G_c	Combined wind factor of conductors
G_t	Combined wind factor of towers
G_L	Span factor for wind calculations
g	Unit weight of ice (N/m)
$\bar{g}$	Mean value of yearly maximum ice load (N/m)
g_{max}	Maximum weight of ice per unit length observed during a certain number of years (N/m)
g_R	Reference design ice weight (N/m)
g_H	Ice load having a high probability (N/m)
g_L	Ice load having a low probability (N/m)
h	Height of centre of gravity of a panel in a lattice tower (m)
K_R	Terrain roughness factor
K_d	Factor related to the influence of conductor diameter
K_h	Factor to be multiplied by $\bar{g}$ to account for the influence of height above ground
K_n	Factor to be multiplied by $\bar{g}$ to account for the influence of the number of years with icing observations
l_e	Length of a support member (m)
L	Span length or wind span (m)
L_m	Average span (m)
n	Number of years of observation of a climatic event
N	Number of components subjected to maximum loading intensity
P_f	Probability of failure (%)
P_{fi}	Probability of failure of component i (%)
P_s	Probability of survival (%)
P_{si}	Probability of survival of component i (%)

Q	Expression générale servant à identifier les effets des charges liées aux conditions climatiques sur les lignes et leurs composants
Q_T	Charge limite d'un système correspondant à une période de retour T
q_0	Pression dynamique de référence due à la vitesse de référence du vent V_R (q_{0L} , q_{0H} pour les cas de faible et forte probabilités, respectivement) (Pa ou N/m ²)
Re	Nombre de Reynolds
R	Résistance (mécanique)
$\bar{R}$	Résistance moyenne
R_c	Résistance caractéristique
$(e)R$	Limite d'exclusion (e) de la résistance
CSR	Charge statique résiduelle
S_i	Surface projetée des isolateurs (m ²)
S_t	Surface projetée d'un tronçon de pylône (m ²)
t	Charge de givre exprimée par l'épaisseur du manchon répartie uniformément autour du conducteur (mm)
t_R	Charge de givre de référence exprimée par l'épaisseur du manchon répartie uniformément autour du conducteur (mm)
T	Période de retour, en années
u	Nombre d'écarts types entre la résistance moyenne et la résistance caractéristique
U	Facteur d'utilisation
v_x	Coefficient de variation (c.v.) de la variable x
V_m	Vitesse maximale annuelle du vent (m/s)
$\bar{V}_m$	Valeur moyenne des vitesses maximales annuelles du vent (m/s)
V_G	Vent géostrophique maximal annuel du vent (m/s)
$\bar{V}_G$	Valeur moyenne du vent géostrophique maximal annuel du vent (m/s)
V_R	Vitesse de référence du vent (m/s)
V_{iL}	Vitesse de référence du vent liée au givrage et assortie d'une faible probabilité d'occurrence (m/s)
V_{iH}	Vitesse de référence du vent liée au givrage et assortie d'une probabilité élevée d'occurrence (m/s)
w	Poids unitaire du conducteur ou du câble de garde (N/m)
$\bar{x}$	Valeur moyenne de la variable x
Y	Distance horizontale entre les fondations d'un support (m)
z	Hauteur des conducteurs du centre de gravité des tronçons de pylônes ou des chaînes d'isolateurs au-dessus du sol (m)
γ	Facteur de charge (forme générale)
γ_U	Coefficient du facteur d'utilisation
γ_{TW}	Facteur de charge destiné à ajuster la vitesse du vent avec une période de retour T de 50 ans
γ_{Tit}	Facteur de charge destiné à ajuster l'épaisseur du givre avec une période de retour T de 50 ans

Q	General expression used to identify the effects of weather related loads on lines and their components
Q_T	The system limit load corresponding a return period T
q_0	Dynamic reference wind pressure due to reference wind speed V_R (q_{0L} , q_{0H} for low and high probability) (Pa or N/m ²)
Re	Reynolds number
R	Strength
$\bar{R}$	Mean strength
R_c	Characteristic strength
$(e)R$	Exclusion limit (e) of strength
RSL	Residual static load
S_i	Projected area of insulators (m ²)
S_t	Projected area of a tower panel (m ²)
t	Ice load expressed in uniform radial ice thickness around the conductor (mm)
t_R	Reference ice load expressed in uniform radial thickness around the conductor (mm)
T	Return period in years
u	Number of standard deviations between mean strength and characteristic strength
U	Use factor
v_x	Coefficient of variation (COV) of variable x
V_m	Yearly maximum wind speed (m/s)
$\bar{V}_m$	Mean yearly maximum wind speed (m/s)
V_G	Yearly maximum gradient wind speed (m/s)
$\bar{V}_G$	Mean yearly maximum gradient wind speed (m/s)
V_R	Reference wind speed (m/s)
V_{iL}	Low probability reference wind speed associated with icing (m/s)
V_{iH}	High probability reference wind speed associated with icing (m/s)
w	Unit weight of conductor or ground wire (N/m)
$\bar{x}$	Mean value of variable x
Y	Horizontal distance between foundations of a support (m)
z	Height above ground of conductors, centre of gravity of towers panels, or insulator strings (m)
γ	Load factor (general form)
γ_U	Use factor coefficient
γ_{TW}	Load factor to adjust the 50 year wind speed to a return period T
γ_{Tit}	Load factor to adjust the 50 year ice thickness to a return period T

γ_{TiW}	Facteur de charge destiné à ajuster le poids du givre avec une période de retour T de 50 ans
δ	Densité de givre (kg/m^3)
Φ	Facteur de résistance (forme générale)
Φ_R	Facteur de résistance globale
Φ_N	Facteur de résistance dû au nombre de composants soumis à une charge d'intensité maximale
Φ_S	Facteur de résistance dû à la coordination de résistance
Φ_Q	Facteur de résistance relatif à la qualité
Φ_c	Facteur de résistance relatif à la résistance caractéristique R_c
σ_x	Ecart type de la variable x
μ	Masse volumique de l'air (kg/m^3)
τ	Facteur de correction relatif à la densité de l'air
ν	Viscosité cinématique de l'air (m^2/s)
Ω	Angle d'incidence de la direction du vent par rapport au conducteur (degrés)
θ	Angle d'incidence de la direction du vent par rapport au tronçon du pylône (degrés)
θ	Angle d'incidence de la direction du vent par rapport aux éléments cylindriques du pylône (degrés)
χ	Rapport de compacité d'un tronçon de pylône

4 Principes généraux

4.1 Objectif

La présente norme sert l'un ou l'autre des objectifs suivants:

- Fournir des critères de conception pour les lignes aériennes en se fondant sur des notions de fiabilité. Cette méthode faisant appel à la fiabilité est surtout utile dans les zones pour lesquelles il est facile de se procurer un volume significatif de données relatives à la météorologie et à la résistance mécanique. Elle peut aussi s'appliquer aux lignes conçues pour supporter des charges climatiques déterminées à partir de l'expérience ou par étalonnage sur des lignes existantes pour lesquelles on dispose d'un long historique de fonctionnement satisfaisant. On obtiendra alors une cohérence de conception entre les résistances mécaniques de ces composants, sans toutefois forcément connaître le niveau réel de fiabilité, en particulier en l'absence de preuve ou d'expérience relatives à des défaillances de lignes.

Il importe de noter que les critères de conception de la présente norme ne constituent pas un manuel complet de conception des lignes de transport. Celles-ci s'attachent en revanche à donner des conseils sur les moyens d'accroître la fiabilité de telles lignes là où c'est nécessaire, et d'adapter la résistance mécanique des différents composants, de manière à obtenir la coordination souhaitée de la résistance entre ces composants.

Ce document fournit également des prescriptions minimales de sécurité du personnel, afin d'éviter tout dommage corporel et de garantir un niveau acceptable de continuité de service (conception sûre et économique).

- Fournir un cadre pour l'élaboration de Normes nationales sur les lignes de transport, en utilisant des notions de fiabilité et en employant des méthodes probabilistes ou semi-probabilistes. Il incombera à ces Normes nationales de déterminer les données climatiques pertinentes pour l'utilisation et l'application de la présente norme, ainsi que les autres données spécifiques au pays concerné.

γ_{TiW}	Load factor to adjust the 50 year ice weight to a return period T
δ	Ice density (kg/m ³)
Φ	Strength factor (general form)
Φ_R	Global strength factor
Φ_N	Strength factor due to number of components subjected to maximum load intensity
Φ_S	Strength factor due to coordination of strength
Φ_Q	Strength factor due to quality
Φ_c	Strength factor related to the characteristic strength R_c
σ_x	Standard deviation of variable x
μ	Mass of air per unit volume (kg/m ³)
τ	Air density correction factor
ν	Kinetic air viscosity (m ² /s)
Ω	Angle between wind direction and the conductor (degrees)
θ	Angle of incidence of wind direction with the tower panel (degrees)
θ'	Angle of incidence of wind direction with cylindrical elements of tower (degrees)
χ	Solidity ratio of a tower panel

4 General

4.1 Objective

This standard serves either of the following purposes:

- a) It provides design criteria for overhead lines based on reliability concepts. The reliability based method is particularly useful in areas where significant amounts of meteorological and strength data are readily available. This method may however be used for lines designed to withstand specific climatic loads, either derived from experience or through calibration with existing lines that had a long history of satisfactory performance. In these cases, design consistency between strengths of line components will be achieved, but actual reliability levels may not be known, particularly if there has been no evidence or experience with previous line failures.

It is important to note that the design criteria in this standard do not constitute a complete design manual for transmission lines. However, guidance is given on how to increase the line reliability if required, and to adjust the strength of individual components to achieve a desired coordination of strength between them.

This standard also provides minimum safety requirements to protect people from injury, as well as to ensure an acceptable level of service continuity (safe and economical design).

- b) It provides a framework for the preparation of national standards for transmission lines using reliability concepts and employing probabilistic or semi-probabilistic methods. These national standards will need to establish the climatic data for the use and application of this standard in addition to other data specific to each country.

Les critères de conception figurant dans la présente norme s'appliquent aux lignes nouvelles. Nul n'ignore toutefois que les lignes de transport sont sujettes au vieillissement, et que leur résistance mécanique diminue avec le temps. Cette perte de résistance due à l'âge est néanmoins difficile à généraliser, car elle varie selon les composants, et dépend en outre de la nature des matériaux employés, des procédés de fabrication et de l'influence du milieu. L'étude de cette question a été confiée à des organismes techniques compétents.

Les prescriptions sont énoncées dans le corps de la présente norme, tandis que les annexes A à C présentent des informations supplémentaires et des explications.

4.2 Conception du système

Une ligne de transport est conçue comme un système lui-même fait de composants: supports, fondations, conducteurs, isolateurs et chaînes d'isolateurs. Cette notion fonde la méthodologie de la présente norme. Cette approche permet au concepteur de coordonner les résistances des composants à l'intérieur du système. Elle admet en outre qu'une ligne de transport est une série de composants dans laquelle la défaillance de tout composant pourrait faire disparaître la capacité de transport de puissance. Elle est censée conduire à une conception globale économique sans discordance indésirable.

De par cette approche systémique de la conception, on admet que la fiabilité d'une ligne dépend de celle de son composant le moins fiable.

Comme le montre la Figure 1, une ligne de transport peut être divisée en quatre composants principaux, dont chacun peut à son tour être décomposé en éléments.

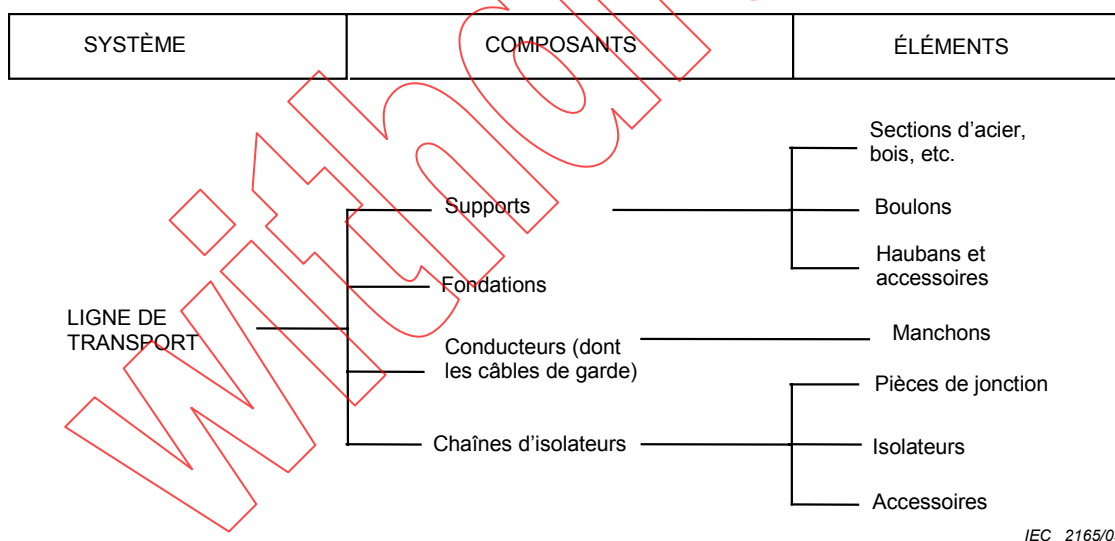


Figure 1 – Schéma d'une ligne de transport

4.3 Fiabilité du système

Les critères de conception décrits dans la présente norme visent à assurer la fiabilité et la sécurité des lignes. On parvient à une telle fiabilité en prescrivant des résistances des composants supérieures aux effets chiffrables de charges spécifiées liées aux conditions climatiques. La présente norme précise quelles sont ces charges, et fournit des moyens de calculer leurs effets sur les lignes de transport. Cependant, il faut aussi admettre que d'autres phénomènes, qui ne sont pas directement envisagés lors de la conception, peuvent entraîner la défaillance d'une ligne: chocs causés par des objets, défauts des matériaux, etc. De ce fait, certaines dispositions, appelées prescriptions de sécurité, sont prévues par la présente norme afin de conférer aux lignes une résistance suffisante pour réduire les dommages et, le cas échéant, leur propagation.

The design criteria in this standard apply to new line conditions. It is however a fact of life that transmission lines age and lose strength with time. The amount of strength reduction due to ageing is difficult to generalize, as it varies from one component to another, and also depends on the type of material, the manufacturing processes and the environmental influences. This issue is currently being studied by relevant technical bodies.

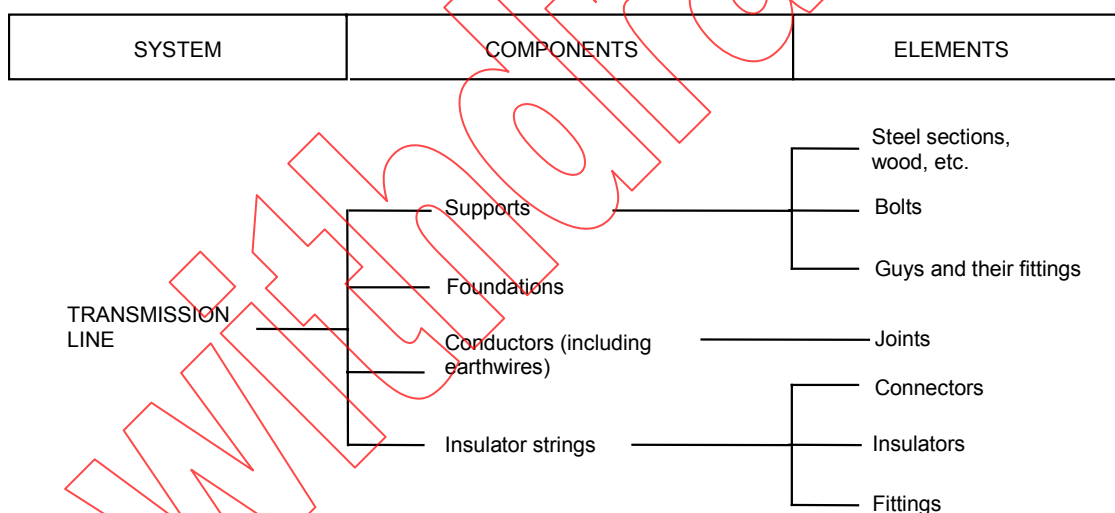
The requirements are specified in this standard, while, in Annexes A to C, additional informative data and explanations are given.

4.2 System design

The methodology is based on the concept whereby a transmission line is designed as a system made of components such as supports, foundations, conductors and insulator strings. This approach enables the designer to coordinate the strengths of components within the system and recognizes the fact that a transmission line is a series of components where the failure of any component could lead to the loss of power transmitting capability. It is expected that this approach should lead to an overall economical design without undesirable mismatch.

As a consequence of such a system design approach, it is recognized that line reliability is controlled by that of the least reliable component.

An overhead transmission line can be divided into four major components as shown in Figure 1. Subsequently, each component may be divided into elements.



IEC 2165/03

Figure 1 – Diagram of a transmission line

4.3 System reliability

The objective of design criteria described in this standard is to provide for reliable and safe lines. The reliability of lines is achieved by providing strength requirements of line components larger than the quantifiable effects of specified weather related loads. These climatic loads are identified in this standard as well as means to calculate their effects on transmission lines. However, it has to be recognized that other conditions, not dealt with in the design process, can occur and lead to line failure such as impact of objects, defects in material, etc. Some measures, entitled security requirements, included in this standard provide lines with enough strength to reduce damage and its propagation, should it occur.

5 Critères généraux de conception

5.1 Méthodologie

La méthodologie conseillée pour le calcul des lignes de transport est résumée à la Figure 2 et peut être décrite de la manière suivante:

- a) Collecte des données préliminaires relatives à la conception de la ligne et aux conditions climatiques.

NOTE 1 Certains pays font figurer dans leurs Normes nationales la vitesse de référence du vent (avec une période de retour de 50 ans, par exemple).

- b1) Choix du niveau de fiabilité en termes de période de retour des charges limites.

NOTE 2 Certaines réglementations et/ou certains codes de bonne pratique nationaux comportent parfois, directement ou indirectement, des prescriptions de conception susceptibles de restreindre le choix offert aux concepteurs.

- b2) Sélection des prescriptions de sécurité structurale (limitation de défaillance).
- b3) Compilation des prescriptions de sécurité imposées par la réglementation obligatoire et par les charges à prendre en compte pendant l'édification et l'entretien.
- c) Calcul des variables climatiques correspondant à la période de retour choisie pour les charges limites.
- d1) Calcul des charges climatiques limites sur les composants.
- d2) Calcul des charges correspondant aux prescriptions de sécurité structurale.
- d3) Calcul des charges relatives aux prescriptions relatives à la sécurité du personnel pendant la construction et l'entretien.
- e) Détermination de la coordination de résistance appropriée entre les composants de la ligne.
- f) Sélection des facteurs de charge et de résistance appropriés applicables aux équations de charge et de résistance.
- g) Calcul des résistances caractéristiques nécessaires pour les composants.
- h) Calcul des composants pour les prescriptions de charge et de résistance citées ci-dessus.

La présente norme traite des points b) à g). Les points a) et h) ne font pas partie de son domaine d'application. Ils sont repérés par un cadre grisé à la Figure 2.

5 General design criteria

5.1 Methodology

The recommended methodology for designing transmission line components is summarized in Figure 2 and can be described as follows:

- a) Collect preliminary line design data and available climatic data.

NOTE 1 In some countries, reference wind speed, such as the 50 year return period, is given in national standards.

- b) Select the reliability level in terms of return period of limit loads.

NOTE 2 Some national regulations and/or codes of practice, sometimes impose directly or indirectly, design requirements that may restrict the choice offered to designers.

- b2) Select the security requirements (failure containment).

- b3) List safety requirements imposed by mandatory regulations and construction and maintenance loads.

- c) Calculate climatic variables corresponding to selected return period of limit loads.

- d1) Calculate climatic limit loads on components.

- d2) Calculate loads corresponding to security requirements.

- d3) Calculate loads related to safety requirements during construction and maintenance.

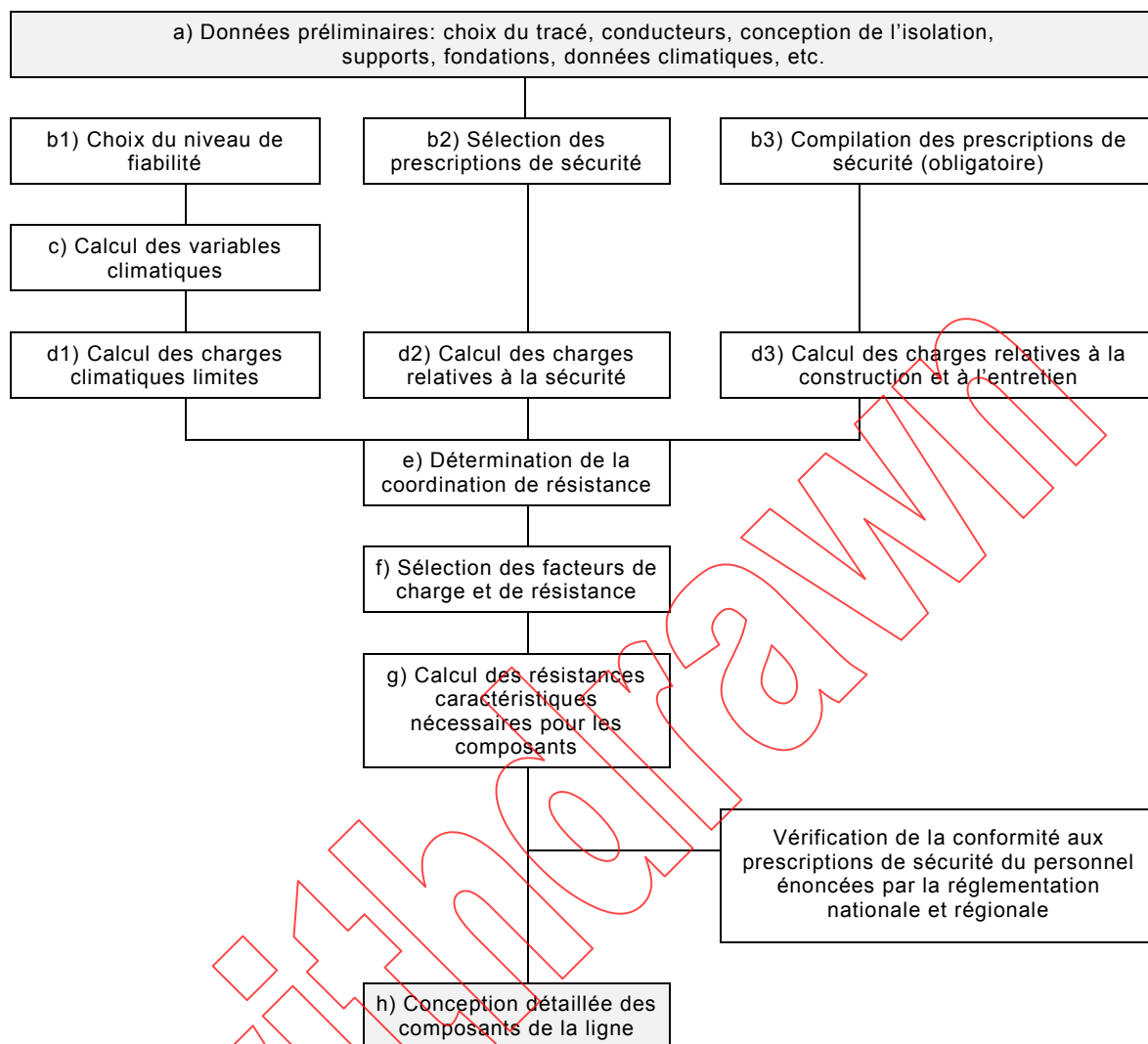
- e) Determine the suitable strength coordination between line components.

- f) Select appropriate load and strength factors applicable to load and strength equations.

- g) Calculate the characteristic strengths required for components.

- h) Design line components for the above strength requirements.

This standard deals with items b) to g). Items a) and h) are not part of the scope of this standard. They are identified by a shaded frame in Figure 2.



IEC 2166/03

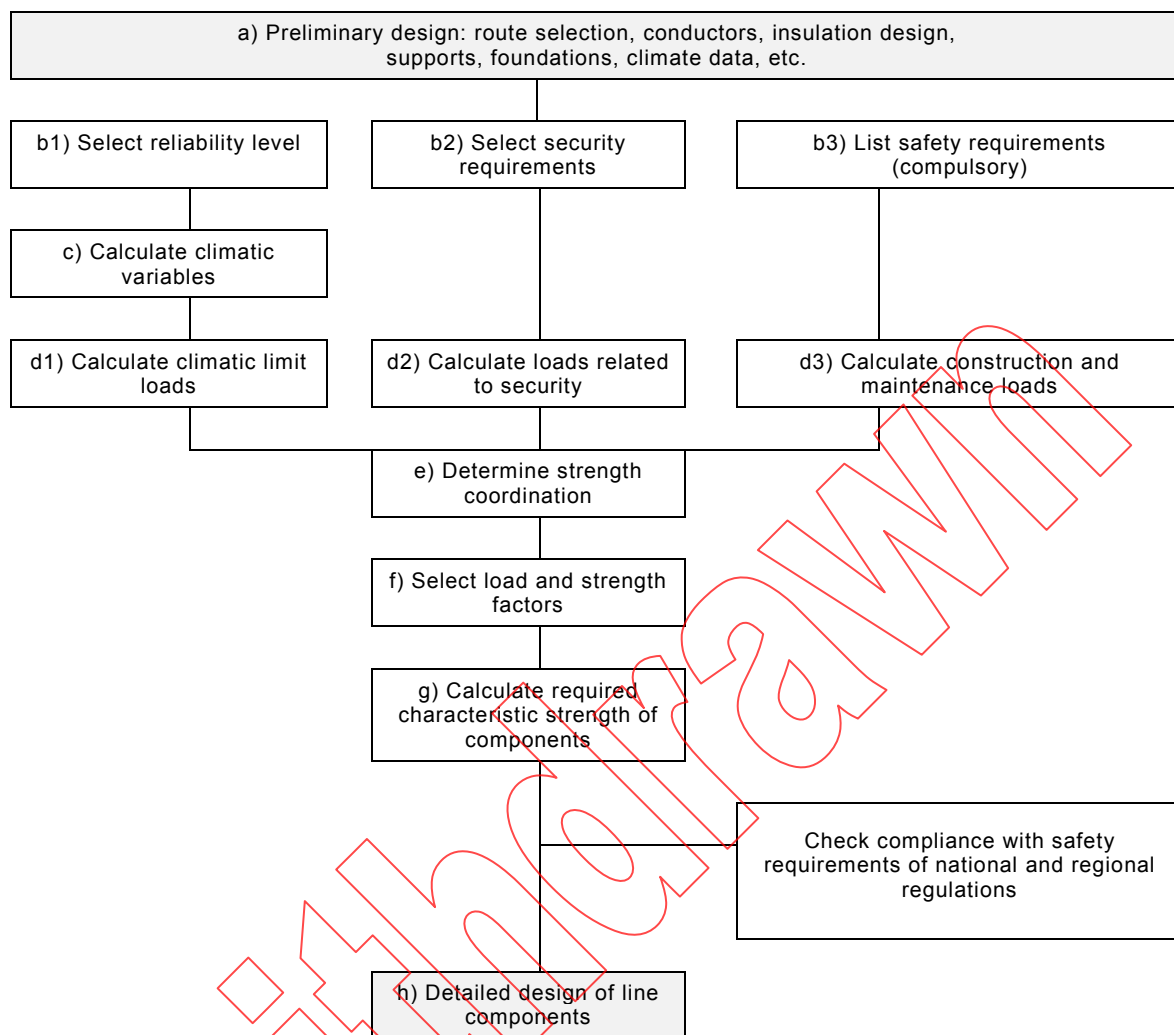
Figure 2 – Méthodologie pour la conception des lignes de transport

5.1.1 Prescriptions liées à la fiabilité

5.1.1.1 Niveaux de fiabilité (charges climatiques)

Les prescriptions liées à la fiabilité visent à garantir que les lignes sont à même, pendant leur durée de vie prévisionnelle, de supporter les charges climatiques limites définies (vent, givre, givre plus vent, compte tenu d'une période de retour T) ainsi que les charges liées à ces événements et d'assurer la continuité de service dans ces conditions.

On peut concevoir les lignes de transport selon différents niveaux (ou classes) de fiabilité. Dans le cadre de la présente norme, le niveau de fiabilité de référence correspond à la fiabilité d'une ligne conçue pour supporter un événement climatique dont la période de retour est de 50 ans, assortie d'une limite d'exclusion de 10 % relative à la résistance mécanique (appliquée aux composants sélectionnés comme étant les moins fiables). On considère généralement ce niveau de fiabilité de référence acceptable en termes de continuité de service et de sécurité du personnel.



IEC 2166/03

Figure 2 – Transmission line design methodology**5.1.1 Reliability requirements****5.1.1.1 Reliability levels (weather related loads)**

Reliability requirements aim to ensure that lines can withstand the defined climatic limit loads (wind, ice, ice and wind, with a return period T) and the loads derived from these events during the projected life cycle of the system and can provide service continuity under these conditions.

Transmission lines can be designed for different reliability levels (or classes). For the purposes of this standard, the reference reliability level is defined as the reliability of a line designed for a 50 year return period climatic event associated with a 10 % exclusion limit of strength (applies to the components selected as the least reliable). This reference reliability level is generally regarded as providing an acceptable reliability level in respect of continuity of service and safety.

Pour concevoir une ligne offrant un niveau de fiabilité supérieur, on allonge la période de retour T des événements climatiques considérés. Ce niveau supérieur peut se justifier, par exemple, par le rôle de la ligne au sein du réseau. La présente norme propose trois niveaux de fiabilité, censés couvrir la plage de valeurs à prendre en compte pour la plupart des lignes de transport. Ces niveaux sont exprimés par rapport à la période de retour des charges climatiques limites indiquée au Tableau 1. Pour les lignes édifiées à titre temporaire, certains poteaux en bois ou les lignes d'importance mineure, il peut être approprié de choisir une période de retour de l'ordre de 25 ans.

Tableau 1 – Niveaux de fiabilité relatifs aux lignes de transport

Niveaux de fiabilité	1	2	3
T , période de retour des charges climatiques limites, en années	50	150	500

NOTE Certaines réglementations et/ou certains codes de bonne pratique nationaux comportent parfois, directement ou indirectement, des prescriptions de conception susceptibles de restreindre le choix offert aux concepteurs.

T peut prendre d'autres valeurs, dans la plage comprise entre 50 ans et 500 ans: 100 ans, 200 ans ou 400 ans, par exemple, si les conditions locales le justifient.

Il arrive que les prescriptions d'une entreprise d'électricité dictent d'autres niveaux de fiabilité, en fonction de l'optimisation recherchée entre le coût initial de la ligne et le coût d'un sinistre à venir, ainsi que des incertitudes liées aux paramètres de conception initiaux.

5.1.1.2 Valeurs approchées de la fiabilité annuelle

Les charges (Q) comme les résistances (R) sont des variables stochastiques et la fiabilité combinée pour ces deux facteurs peut être calculée dès lors que sont connues les fonctions statistiques de la charge Q et de la résistance R . Une ligne est jugée fiable lorsque les effets des charges sont inférieurs à sa résistance mécanique. Cette fiabilité se traduit par l'équation suivante:

Fiabilité annuelle (probabilité de survie) = $1 - \text{probabilité de rupture sur un an} =$

$$1 - \int_{-0}^{+\infty} f_{(Q)} \times F_{(R)} \times dQ$$

où

$f_{(Q)}$ correspond à la fonction de densité de probabilité de la charge Q ;

$F_{(R)}$ correspond à la fonction de répartition de la résistance R .

NOTE La fonction de répartition correspond à l'intégrale de la fonction de densité de probabilité. En d'autres termes,

$$F_{(R)} = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{(R)} \times dR$$

Lorsque la résistance caractéristique, qui, par convention, présente une probabilité de dépassement de 90 % (la limite d'exclusion est donc de 10 %), est considérée comme étant égale à la charge Q_T (assortie d'une période de retour T), différentes combinaisons probabilistes conduisent à une fiabilité annuelle minimale théorique d'environ $(1 - 1/2T)$. La fiabilité réelle peut être différente si les données initiales de charge et de résistance ne sont pas suffisamment précises, ou font défaut (voir A.1.2 pour plus de détails sur la variation de la probabilité de défaillance). Dans ce cas, la fiabilité absolue peut être inconnue, mais il est possible de calculer sa valeur par rapport à une conception de référence, à condition que les paramètres relatifs à la ligne nouvelle soient comparables aux valeurs de référence.

Lines can be designed for higher reliability levels by increasing the return period T of climatic events. A higher reliability can be justified for example by the importance of the line in the network. Three reliability levels are proposed in this standard and are assumed to cover the range of values to be considered for most transmission lines. These levels are expressed in terms of return periods of climatic limit loads as shown in Table 1. For temporary lines, some wooden poles or lines of limited importance, return periods of about 25 years may be appropriate.

Table 1 – Reliability levels for transmission lines

Reliability levels	1	2	3
T , return period of climatic limit loads, in years	50	150	500

NOTE Some national regulations and/or codes of practice, sometimes impose, directly or indirectly, design requirements that may restrict the choice offered to designers.

Other values of T in the range of 50-500 years, such as 100, 200 and 400 years, can be used if justified by local conditions.

In some cases, individual utility's requirements can dictate other reliability levels depending on the proper optimization between initial cost of the line and future cost of damage, as well as on uncertainties related to input design parameters.

5.1.1.2 Approximate values for yearly reliability

Both loads (Q) and strengths (R) are stochastic variables and the combined reliability is computable if the statistical functions of load Q and strength R are known. The condition for a line to be reliable is when loads effects are less than the strength withstand of the line. The reliability condition translates into the following equation:

Yearly reliability (probability of survival) = 1 - yearly probability of failure =

$$1 - \int_{-0}^{+\infty} f_{(Q)} \times F_{(R)} \times dQ$$

where

$f_{(Q)}$ is the probability density function of load Q ;

$F_{(R)}$ is the cumulative distribution function of strength R .

NOTE The cumulative distribution function is the integral of the probability density function, i.e.

$$F_{(R)} = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{(R)} \times dR$$

When the characteristic strength, deemed to be the strength being exceeded with 90 % probability (i.e. the exclusion limit is 10 %), is set equal to the load Q_T (having a return period T), various probabilistic combinations lead to a theoretical yearly minimum reliability of around $(1 - 1/2T)$. The actual reliability can be different if input data of load and strength are not sufficiently accurate or available (refer to A.1.2 for further discussions on the variation of probability of failure). In the latter case, the absolute reliability may not be known, but its value relative to a reference design may be computed if new line parameters are comparable to the reference values.

5.1.2 Prescriptions relatives à la sécurité structurale

Les prescriptions de sécurité structurale correspondent à des charges et/ou à des dispositions particulières destinées à réduire le risque de défaillances graduelles (ou en cascade) qui sont susceptibles de se propager bien au-delà d'une défaillance initiale. Ces dispositions sont détaillées en 6.6.

NOTE Certaines dispositions de sécurité structurale, notamment celles consistant à mettre en œuvre une résistance longitudinale aux charges dues à la rupture d'un conducteur afin de limiter les effets d'une défaillance, peuvent accroître le taux de fiabilité de la résistance aux charges dissymétriques de givre.

5.1.3 Prescriptions relatives à la sécurité du personnel

Les prescriptions concernant la sécurité du personnel prennent la forme de charges particulières en fonction desquelles les composants des lignes (principalement les barres des supports) doivent être conçus de façon que les opérations de construction et d'entretien n'exposent pas le personnel à des dangers supplémentaires. Les dispositions correspondantes sont détaillées en 6.5.

5.2 Prescriptions relatives à la relation charge climatique/résistance

5.2.1 Charge limite

Les charges liées aux phénomènes climatiques sont des variables aléatoires. On distingue trois cas de charge associés aux conditions climatiques: vent, givre et vent plus givre combinés. Lorsqu'on dispose de données statistiques sur le vent et/ou le givre, on peut calculer la charge climatique correspondant à la période de retour T retenue, désignée Q_T , pour chaque composant exposé à l'événement climatique considéré. Lors de ce calcul, il convient de tenir compte de l'espace occupé par la ligne et des tendances directionnelles calculables, notamment. Il faut par ailleurs noter que la présente norme n'énonce pas de prescriptions relatives à d'autres phénomènes, tels que les séismes.

Dans le texte de la présente norme, la charge Q_T représente la charge limite du système ayant une période de retour T .

Dans le processus de calcul de chaque composant, la condition suivante doit être vérifiée:

$$\text{Charge limite de conception} < \text{résistance de conception} \quad (1)$$

ou, plus précisément:

Facteur de charge $\gamma \times$ effet de la charge limite $Q_T < \text{facteur de résistance } \phi \times \text{résistance caractéristique } R_c$.

Dans le cadre de l'approche proposée, la conception intègre les charges climatiques limites Q_T sans facteurs de charge supplémentaires. En conséquence, on considère que γ est égal à 1.

La relation énoncée plus haut devient alors:

$$\text{effet de } Q_T < \phi \times R_c \quad (2)$$

Pour les charges climatiques, les effets de Q_T sont détaillés de 6.2 à 6.4.

L'équation (3) sert à calculer la résistance caractéristique minimale R_c que doit présenter chaque composant pour pouvoir supporter les charges limites.

$$R_c > (\text{effet de } Q_T) / \phi \quad (3)$$

5.1.2 Security requirements

Security requirements correspond to special loads and/or measures intended to reduce risk of uncontrollable progressive (or cascading) failures that may extend well beyond an initial failure. These measures are detailed in 6.6.

NOTE Some security measures, such as those providing longitudinal strength of broken conductor loads for failure containment can lead to an increase in reliability to withstand unbalanced ice loads.

5.1.3 Safety requirements

Safety requirements consist of special loads for which line components (mostly support members) have to be designed, to ensure that construction and maintenance operations do not pose additional safety hazards to people. These measures are detailed in 6.5.

5.2 Climatic load-strength requirements

5.2.1 Limit load

Loads associated with climatic events are random variables. Three weather-related loading conditions are recognized: wind, ice, and wind and ice combined. When statistical data of wind and/or ice are available, these can be used to compute the climatic load corresponding to the selected return period T , designated Q_T , for each component exposed to the climatic event under consideration. In the computation process, consideration should be given to the spatial extent of the line, computable directional trends, etc. It is noted that requirements for other events such as earthquakes are not covered in this standard.

Throughout the present standard, the loading Q_T is called the system limit load having a return period T .

In the calculation process for each component, the following condition has to be checked:

$$\text{Design limit load} < \text{design strength} \quad (1)$$

or, more precisely,

$$\text{Load factor } \gamma \times \text{effect of limit load } Q_T < \text{strength factor } \phi \times \text{characteristic strength } R_c.$$

With the approach proposed, climatic limit loads Q_T are used for design without additional load factors. Consequently, γ is taken equal to 1.

Thus the previous relation becomes:

$$\text{effect of } Q_T < \phi \times R_c \quad (2)$$

For weather related loads, the effects of Q_T are detailed in 6.2 to 6.4.

Equation (3) is used to compute the minimum value of characteristic strength R_c for each component in order to withstand limit loads.

$$R_c > (\text{effect of } Q_T) / \phi \quad (3)$$

Q_T peut être obtenu à partir de l'analyse statistique des données climatiques, conformément aux techniques détaillées dans les Annexes A à C. Certaines normes nationales spécifient une variable climatique de référence (qui correspond généralement à une période de retour de 50 ans). Dans ce cas, il est possible d'estimer la variable climatique pour toute période de retour T (années) en multipliant la valeur de référence 50 ans par le facteur de charge γ_T , indiqué au Tableau 2.

Tableau 2 – Facteurs γ_T utilisables par défaut pour ajuster les charges climatiques par rapport à la période de retour T de 50 ans

Période de retour T années	Vitesse du vent	Variable de givre	
	γ_{TW}	γ_{Tit} (épaisseur du manchon de givre)	ou γ_{TiW} (poids du manchon de givre)
50	1	1	1
150	1,10	1,15	1,20
500	1,20	1,30	1,45

NOTE Les valeurs de γ indiquées dans le tableau ci-dessus sont suffisamment précises pour un coefficient de variation pouvant atteindre 0,16 pour la vitesse du vent, 0,30 pour l'épaisseur du manchon de givre et 0,65 pour le poids unitaire du manchon de givre. Elles sont déduites de la fonction de distribution de Gumbel.

5.2.2 Prescriptions de conception relatives au système

La vérification doit s'effectuer selon trois critères de conception: fiabilité, sécurité structurale et sécurité du personnel. Le Tableau 3 résume le contexte des charges, les performances exigées et les états limites liés à chaque critère.

Tableau 3 – Prescriptions de conception du système

Critère (ou prescription)	Type de charges	Fonctionnement requis	Etat limite correspondant
Fiabilité	Charges climatiques dues au vent, au givre, à la combinaison du vent et du givre, pour une période de retour T	Garantir l'aptitude à transporter l'énergie de manière fiable et sûre	Limite d'endommagement
Sécurité structurale	Charges exercées en torsion, verticalement et longitudinalement	Réduire la probabilité d'une propagation incontrôlable des défaillances (limitation de défaillance)	Limite de rupture
Sécurité du personnel	Charges liées à la construction et à la maintenance	Garantir la sécurité des conditions de construction et de maintenance	Limite d'endommagement

5.2.3 Equation de conception pour chaque composant

Lors de la conception des différents composants, l'équation (2) peut être développée de la manière suivante:

$$\gamma_U \times \text{effet de } Q_T < \phi_R \times R_c \quad (4)$$

γ_U correspond au coefficient du facteur d'utilisation. Cette grandeur est déduite de la fonction de distribution du facteur d'utilisation U et exprime la relation entre les conditions ou paramètres effectifs (réels) et de conception (initiaux). Le facteur d'utilisation U est une variable aléatoire égale au rapport de la charge limite constatée exercée sur un composant du fait d'un événement climatique (situation réelle de la ligne) à la charge limite de conception prévue pour ce composant en présence du même phénomène climatique (en se fondant sur les paramètres maximaux). Le recours à γ_U se justifie par le fait que les composants sont

Q_T can be obtained from the statistical analysis of climatic data in accordance with techniques detailed in Annexes A to C. In some national standards, a reference (usually a 50 year return period value) climatic variable is specified. In such case, the climatic variable for any return period T (years) can be estimated by multiplying the 50 year reference value of the climatic variable by the load factor γ_T , given in Table 2.

Table 2 – Default γ_T factors for adjustment of climatic loads in relation to return period T vs. 50 years

Return period T years	Wind speed	Ice variable	
	γ_{TW}	γ_{Tit} (ice thickness)	or γ_{TiW} (ice weight)
50	1	1	1
150	1,10	1,15	1,20
500	1,20	1,30	1,45

NOTE The above γ values are sufficiently accurate for a COV of up to 0,16 for wind speed, 0,30 for ice thickness and 0,65 for unit ice weight and are derived from the Gumbel distribution function.

5.2.2 Design requirements for the system

Three types of design conditions shall be checked: reliability, security and safety. Table 3 summarizes the context of loads, the required performance and the limit states associated with each condition.

Table 3 – Design requirements for the system

Condition (or requirement)	Type of load	Required performance	Corresponding limit state
Reliability	Climatic loads due to wind, ice, ice plus wind, with a return period T	To ensure reliable and safe power transmission capability	Damage limit
Security	Torsional, vertical, and longitudinal loads	To reduce the probability of uncontrollable propagation of failures (failure containment)	Failure limit
Safety	Construction and maintenance loads	To ensure safe construction and maintenance conditions	Damage limit

5.2.3 Design equation for each component

When designing individual line components, Equation (2) can be expanded into:

$$\gamma_U \times \text{effect of } Q_T < \phi_R \times R_C \quad (4)$$

γ_U is the use factor coefficient. It is derived from the distribution function of the use factor U and expresses the relationship between effective (actual) and design (original) conditions or parameters. The use factor U is a random variable equal to the ratio of the effective (actual line conditions) limit load applied to a component by a climatic event to the design limit load

conçus comme des familles de produits, et non pas individuellement. Cependant, puisque cette conception intervient généralement avant que l'on ait spécifiquement connaissance des paramètres applicables en conditions réelles, il est admissible d'utiliser $\gamma_U = 1$ pour la conception des lignes nouvelles.

NOTE Cela revient à considérer que la conception est tributaire de la portée la plus longue de la ligne.

Il importe d'observer que cette simplification ne peut qu'avoir une incidence positive sur la fiabilité. Cependant, l'influence de γ_U sur la fiabilité peut être pleinement prise en compte pour les lignes existantes, pour lesquelles les paramètres d'utilisation des composants sont bien connus. Pour un examen détaillé de ce sujet, voir l'Article B.4.

R_c correspond à la résistance caractéristique. C'est la valeur garantie indiquée dans les normes relatives aux composants neufs. Sa probabilité est généralement comprise entre 90 % et 98 %. Cette valeur est aussi appelée résistance garantie, résistance minimale ou charge de rupture minimale. Si elle n'est pas spécifiée ou calculée, on peut raisonnablement estimer la limite d'exclusion de R_c à 10 % (les valeurs typiques sont comprises entre 2 % et 10 %). On admet généralement que les composants d'une ligne sont sujets au vieillissement, tout comme ceux de n'importe quelle structure, ce qui entraîne une diminution de leur résistance. La présente norme ne traite pas du chiffrage de cette perte de résistance due au temps et les valeurs suggérées dans ce document concernant la fiabilité se réfèrent à une ligne neuve.

Très souvent, les normes n'associent qu'une seule valeur normative à la défaillance d'un composant. L'approche adoptée ici nécessite en revanche de considérer deux limites: d'endommagement et de défaillance. Si la limite d'endommagement correspondant à R_c n'est pas spécifiée dans les normes, on peut se référer aux Tableaux 14 à 17.

ϕ_R est un facteur de résistance global applicable au composant en cours de conception et tenant compte des points suivants:

a) Aspects relatifs au système

- le nombre (N) de composants exposés à la charge limite Q_T lors de toute survenue de ce phénomène, (d'où ϕ_N);
- la coordination des résistances sélectionnées entre les composants, (d'où ϕ_S).

b) Aspects relatifs au composant

- la différence de qualité du composant entre l'essai sur prototypes et la mise en place effective, (d'où ϕ_Q);
- la différence entre la limite d'exclusion effective de R_c et la valeur e supposée = 10 %, (d'où ϕ_c);

Sachant que ces facteurs sont statistiquement indépendants:

$$\phi_R = \phi_N \times \phi_S \times \phi_Q \times \phi_c \quad (5)$$

Tous les facteurs de résistance ϕ énoncés ci-dessus sont détaillés en 7.2.

6 Charges

6.1 Description

Cet article définit les charges structurales prises en compte dans la conception des composants des lignes de transport.

for this component under the same climatic event (using maximum parameters). Symbol γ_U is introduced because components are designed by families, not individually. However, since components are usually designed prior to specific knowledge of their real line parameters, it is admissible to use $\gamma_U = 1$ for new lines design.

NOTE This is equivalent to considering that design is influenced by the maximum span in the line.

It is important to note this simplification will certainly have a positive influence on reliability. However, the influence of γ_U on reliability can be fully considered for existing lines, where use parameters of components are fully known. For a detailed discussion on the subject, refer to Clause B.4.

R_c is the characteristic strength. It is the value guaranteed in appropriate standards for new components, usually with a 90 % to 98 % probability. This value is also called the guaranteed strength, the minimum strength or the minimum failing load. When not specified or calculated, the exclusion limit of R_c can be conservatively taken as 10 % (typical values are in the range of 2 % to 10 %). It is generally accepted that line components will age with time, just like any structural components, and will suffer a reduction in their strength. This quantification of loss of strength with time is not covered in this standard and the reliability values suggested herein are based on new line conditions.

Very often, standards only provide a single normative value usually associated with failure of the component, while the approach mentioned above requires the consideration of two limits: damage and failure limits. If the damage limit corresponding to R_c is not specified in the standards, Tables 14 to 17 can be used to provide such values.

ϕ_R is a global strength factor applicable to the component being designed that takes into account:

- a) Features related to the system
 - the number (N) of components exposed to the limit load Q_T during any single occurrence of this load event, (hence ϕ_N);
 - the coordination of strengths selected between components, (hence ϕ_S).
- b) Features related to the component
 - the difference in the quality of the component during prototype testing and actual installation, (hence ϕ_Q);
 - the difference between the actual exclusion limit of R_c and the supposed $e = 10$ %, (hence ϕ_c);

As these factors are statistically independent:

$$\phi_R = \phi_N \times \phi_S \times \phi_Q \times \phi_c \quad (5)$$

All the above strength factors ϕ are detailed in 7.2.

6 Loadings

6.1 Description

This clause defines structural loadings considered for the design of transmission line components.

Comme l'indique 5.2.1, trois catégories de charges sont envisagées:

- a) Charges dues aux événements climatiques ou toute charge découlant indirectement de ces événements et déterminant la fiabilité de la ligne sur sa durée de vie prévisionnelle.

Ces charges seront analysées dans les paragraphes suivants:

- charges de vent (6.2) ;
- givre sans vent (6.3) ;
- givre avec vent (6.4).
- b) Charges liées aux exigences de sécurité du personnel (construction et entretien) (6.5);
- c) Charges liées aux exigences de sécurité structurale (limitation de défaillance) (6.6).

6.2 Charges climatiques, vent et températures associées

Le présent paragraphe définit les procédures permettant d'évaluer les effets du vent et des températures afférentes sur les composants et éléments des lignes (conducteurs, chaînes d'isolateurs, supports).

6.2.1 Champ d'application

Bien que la méthode présentée dans ce paragraphe soit, dans son principe, applicable à toute ligne aérienne, elle est plus précisément définie pour des conditions suivantes:

- Portées d'une longueur comprise entre 200 m et 800 m. Hors de cette fourchette, le calcul des divers coefficients (de rafale, en particulier) doit être vérifié. Pour les portées supérieures à 800 m, on pourra, toutefois, sans mettre en péril la sécurité des travailleurs, adopter un coefficient de rafale correspondant à une portée de 800 m. Pour les portées de moins de 200 m, il est possible d'utiliser les valeurs applicables à la portée de 200 m.
- Supports d'une hauteur inférieure à 60 m. Des supports plus hauts pourraient être calculés selon les mêmes principes, mais la valeur des efforts de vent demande vérification. La fréquence propre de vibration des structures de plus de 60 m, en particulier, aura souvent pour effet d'accroître le facteur de réponse à la rafale.
- Altitude des régions traversées ne dépassant pas 1 300 m au-dessus du niveau moyen de l'environnement topographique, sauf là où des résultats d'études particulières sont disponibles.
- Terrains ne présentant pas de caractéristiques topographiques dont la taille et la forme sont susceptibles d'affecter de manière significative le profil du vent de la région considérée.

Il importe de noter que la présente norme ne traite pas spécifiquement des prescriptions relatives aux vents associés à des phénomènes localisés tels que les tornades. Or, ces vents peuvent causer d'importants dégâts aux lignes de transport, que ce soit directement (du fait de leur force) ou indirectement (par suite d'impact d'objets ainsi transportés). En outre, les effets d'accélération dus au phénomène d'entonnoir entre des collines ou à la pente de terrains ne sont pas non plus envisagés dans ce document. Des études spécifiques peuvent donc se révéler nécessaires pour évaluer ces effets.

6.2.2 Rugosité du terrain

La vitesse et la turbulence du vent dépendent de la rugosité du terrain. Plus cette rugosité est forte, plus la turbulence augmente et plus la vitesse du vent à proximité du sol diminue. La présente norme envisage quatre catégories de terrains, par ordre croissant de rugosité (voir Tableau 4).

As indicated in 5.2.1, three load categories are considered:

- a) Loads due to climatic events or any loads derived from them which govern the reliability of the line for the expected life time.

These loads will be analysed in the following subclauses:

- wind loads (6.2);
- ice without wind (6.3);
- ice with wind (6.4).

- b) Loads related to safety requirements (construction and maintenance) (6.5);

- c) Loads related to security requirements (failure containment) (6.6).

6.2 Climatic loads, wind and associated temperatures

This subclause defines the procedures to evaluate the wind and associated temperature effects on line components and elements (conductors, insulator strings, supports).

6.2.1 Field of application

Although this subclause applies in principle to any overhead line, it is most accurately defined for the following conditions:

- Span lengths between 200 m and 800 m. Calculations of the various coefficients (in particular for gusty winds) have to be checked for span lengths outside this range. However, for span lengths greater than 800 m, a gust coefficient corresponding to 800 m span could be safely chosen. For span lengths less than 200 m, the values applicable to 200 m span can be applied.
- Height of supports less than 60 m. Taller supports could be designed following the same principles, but the calculated wind actions would need to be checked. In particular, the eigen frequency of structures above 60 m will often increase the gust response factor.
- Altitude of crossed areas not exceeding 1 300 m above the average level of the topographic environment, except where specific study results are available
- Terrain without local topographical features whose size and shape are likely to significantly affect the wind profile of the region under consideration.

It is important to note that requirements for winds associated with localized events such as tornadoes are not specifically covered in this standard. These winds can cause serious damage to transmission lines either directly (due to wind forces) or indirectly (due to impact of wind carried objects). Furthermore, the effects of acceleration due to funnelling between hills or due to sloping grounds are not covered and may require specific studies to assess such influences.

6.2.2 Terrain roughness

Wind speed and turbulence depends on the terrain roughness. With increasing terrain roughness, turbulence increases and wind speed decreases near ground level. Four types of terrain categories, with increasing roughness values, are considered in this standard as indicated in Table 4.

Tableau 4 – Classification des catégories de terrain

Catégories de terrain	Caractéristiques de rugosité	K_R
A	Vastes étendues d'eau exposées au vent, zones côtières plates	1,08
B	Paysages de rase campagne avec très peu d'obstacles: aéroports ou champs cultivés comportant très peu d'arbres ou de bâtiments, par exemple	1,00
C	Terrain comportant de nombreux petits obstacles de faible hauteur (haies, arbres et constructions)	0,85
D	Zones suburbaines ou terrains comportant des arbres grands et nombreux	0,67

Le facteur de rugosité K_R du Tableau 4 doit être multiplié par la vitesse de référence du vent, pour permettre la conversion d'une catégorie de terrain à une autre. L'utilisation de K_R est détaillée en 6.2.3, tandis que l'Article A.4 décrit les caractéristiques définissant la rugosité du terrain.

6.2.3 Vitesse de référence du vent V_R

V_R est défini comme étant la vitesse de référence du vent (m/s) correspondant à une période de retour T . V_R peut être déterminé par une analyse statistique des données relatives à la vitesse du vent à 10 m au-dessus du sol, intégrées sur une période de 10 min. V_R est généralement mesuré dans des stations météorologiques typiques des terrains de type B, tels que les aéroports, et s'écrit alors V_{RB} . Lorsque les données disponibles relatives au vent s'écartent de ces hypothèses, il convient d'appliquer les méthodes de conversion décrites à l'Article A.4. Si l'on connaît seulement la vitesse de référence du vent pour les terrains de catégorie B, V_{RB} , il est possible de déterminer V_R en appliquant la formule suivante: $V_R = K_R V_{RB}$, où K_R correspond au facteur de rugosité.

NOTE Certains pays, tels que les Etats-Unis, calculent depuis peu la vitesse moyenne du vent sur 3 s. La conversion entre cette période de mesure sur 3 s et celle sur 10 min peut être déduite des statistiques de vent, s'il en existe, ou, à défaut, de la Figure A.7.

6.2.4 Combinaison de la vitesse du vent et de la température

Sauf à établir une corrélation fortement positive entre la vitesse du vent et la température, on suppose que la vitesse maximale du vent ne coïncide pas habituellement avec la température minimale. En conséquence, seules deux combinaisons doivent normalement être prises en compte au titre de la conception. La première allie la vitesse maximale du vent à la moyenne des températures minimales journalières et la seconde associe vent réduit et température minimale la plus basse.

En pratique, il importe de vérifier les deux combinaisons suivantes:

a) Grand vent plus température de référence

Les vitesses du vent définies plus haut à des fins de calcul doivent être considérées comme survenant lorsque la température de l'air est égale à la moyenne des températures minimales journalières sur le site considéré.

b) Vitesse du vent réduite plus température minimale

b1) Vitesse du vent réduite

La vitesse du vent réduite est égale à la vitesse de référence du vent V_R multipliée par un coefficient choisi en fonction des conditions météorologiques locales. En l'absence de connaissances fiables sur ces conditions locales, il est suggéré d'adopter une valeur de 0,6 pour ce coefficient.

Table 4 – Classification of terrain categories

Terrain category	Roughness characteristics	K_R
A	Large stretch of water upwind, flat coastal areas	1,08
B	Open country with very few obstacles, for example airports or cultivated fields with few trees or buildings	1,00
C	Terrain with numerous small obstacles of low height (hedges, trees and buildings)	0,85
D	Suburban areas or terrain with many tall trees	0,67

In Table 4, the roughness factor K_R represents a multiplier of the reference wind speed for conversion from one terrain category to another. The use of K_R is detailed in 6.2.3. A description of terrain roughness characteristics is given in Clause A.4.

6.2.3 Reference wind speed V_R

V_R is defined as the reference wind speed (m/s) corresponding to a return period T . V_R can be determined from a statistical analysis of relevant wind speed data at 10 m above ground and with an averaging period of 10 min. Usually V_R is measured in weather stations typical of terrain type B, such as airports. In such cases, V_R is identified as V_{RB} . Where available wind data differs from these assumptions, refer to Clause A.4 for conversion methods. If the reference wind speed for terrain category B, V_{RB} is only known, V_R can be determined with $V_R = K_R V_{RB}$, where K_R is the roughness factor.

NOTE Some countries, such as the USA, have recently switched to the 3 s averaging period. The conversion from the 3 s to the 10 min wind can be derived from available wind statistics, or if lacking, from Figure A.7

6.2.4 Combination of wind speed and temperatures

Unless a strong positive correlation is established between wind speed and temperature, it is assumed that maximum wind speed does not usually occur with minimum temperature. Consequently, only two combinations shall normally be considered for design purposes; the first being maximum wind at average daily minimum temperature and the second being reduced wind at the extreme minimum temperature.

In practice, the following two combinations need to be checked:

a) High wind speed plus reference temperature condition

The wind velocities defined above for computation shall be considered as occurring at an air temperature equal to the average of the daily minimum temperatures, peculiar to the site.

b) Reduced wind speed at the minimum low temperature condition

b1) Reduced wind speed

The reduced wind speed is equal to the reference wind speed V_R multiplied by a coefficient chosen according to local meteorological conditions. When there is no reliable knowledge of local conditions a value of 0,6 for this coefficient is suggested.

b2) Température associée à la vitesse du vent réduite

La température minimale doit être considérée comme étant égale à la valeur annuelle minimale assortie d'une période de retour de T ans.

Il est à noter que la combinaison de la vitesse du vent réduite et des températures minimales n'a pas, en règle générale, d'incidence sur la conception des lignes de transport. On peut donc faire l'impasse sur ce cas de charge, sauf en ce qui concerne les supports assortis de portées très courtes (généralement moins de 200 m) et les températures minimales très basses (généralement en deçà de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou les supports d'arrêt.

6.2.5 Action unitaire de la vitesse du vent sur un composant ou élément de ligne quelconque

La valeur caractéristique a de l'effort unitaire en Pa (N/m^2), dû à un vent soufflant à angle droit par rapport à un composant ou élément quelconque de la ligne (conducteurs, chaînes d'isolateurs, tout ou partie du support) est donnée par l'expression suivante:

$$a = q_0 C_x G \quad (6)$$

q_0 correspond à la pression dynamique de référence (en Pa ou en N/m^2). Cette grandeur est donnée en termes de vitesse de référence du vent V_R modifiée par le facteur de rugosité K_R (voir Tableau 4) correspondant à la catégorie de terrain à l'emplacement de la ligne:

$$q_0 = \frac{1}{2} \mu (\tau K_R V_{RB})^2 \quad (V_{RB} \text{ est exprimé en m/s, et } q_0 \text{ en N/m}^2) \quad (7)$$

μ est la masse volumique de l'air (égale à $1,225\text{ kg/m}^3$ à la température de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ et sous la pression atmosphérique normale de $101,3\text{ kPa}$ au niveau de la mer);

τ est le facteur de correction de la densité de l'air. Lorsqu'on sait qu'il existe une forte corrélation entre les vitesses limites du vent et une altitude et/ou une température qui diffèrent significativement des hypothèses fixées à $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ et au niveau de la mer, le facteur de correction τ indiqué au Tableau 5 peut être appliqué à la pression q_0 . Dans les autres cas, τ est considéré comme étant égal à 1;

C_x est le coefficient de traînée (ou de pression) dépendant de la forme et des propriétés surfaciques de l'élément considéré;

G est le facteur combiné de vent tenant compte de l'influence de la hauteur de l'élément au-dessus du sol, de la catégorie de terrain, des rafales et de la réponse dynamique (effet provenant du composant). Dans le cas des charges affectant les conducteurs, ce facteur doit être divisé en deux sous-facteurs: G_L et G_C .

Ces facteurs doivent être considérés séparément pour chaque composant ou élément de la ligne.

Tableau 5 – Facteur de correction τ de la pression dynamique du vent de référence q_0 due à l'altitude et aux températures

Température $^{\circ}\text{C}$	Altitude m			
	0	1 000	2 000	3 000
30	0,95	0,84	0,75	0,66
15	1,00	0,89	0,79	0,69
0	1,04	0,94	0,83	0,73
-15	1,12	0,99	0,88	0,77
-30	1,19	1,05	0,93	0,82
NOTE La valeur de référence correspond à une altitude de 0 m et à une température de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.				

b2) Temperature associated with the reduced wind speed

The minimum temperature shall be considered as being equal to the minimum yearly value, having a return period of T years.

It is noted that the design of transmission lines is not generally controlled by the combination of reduced wind speed and minimum low temperatures. This loading case may therefore be omitted, except for cases of supports with very short spans (typically less than 200 m) and minimum low temperatures (typically below $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), or dead-end supports.

6.2.5 Unit action of the wind speed on any line component or element

The characteristic value a of the unit action in Pa (N/m^2), due to the wind blowing at right angles to any line component or element (conductors, insulator strings, all or part of the support) is given by the following expression:

$$a = q_0 C_x G \quad (6)$$

q_0 is the dynamic reference wind pressure (in Pa or N/m^2) and is given in terms of the reference wind speed V_R modified by roughness factor K_R (see Table 4) corresponding to the terrain category at the location of the line:

$$q_0 = \frac{1}{2} \tau \mu (K_R V_{RB})^2 \quad (V_{RB} \text{ in m/s, and } q_0 \text{ in N/m}^2) \quad (7)$$

μ is the air mass per unit volume equal to $1,225\text{ kg/m}^3$ at a temperature of $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ and an atmospheric pressure of $101,3\text{ kPa}$ at sea level;

τ is the air density correction factor. When limit wind speeds are known to be strongly correlated with an altitude and/or temperature significantly different from the assumptions of $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ and sea level, the correction factor τ given in Table 5 can be applied to the pressure q_0 , otherwise, τ is considered to be equal to 1;

C_x is the drag (or pressure) coefficient depending on the shape and surface properties of the element being considered;

G is the combined wind factor, taking into account the influences of the height of the element above ground level, terrain category, wind gusts and dynamic response (component effect). In the case of conductor loads, this factor shall be split into two factors G_L and G_C .

These factors shall be considered separately for each line component or element.

Table 5 – Correction factor τ of dynamic reference wind pressure q_0 due to altitude and temperatures

Temperature $^{\circ}\text{C}$	Altitude m			
	0	1 000	2 000	3 000
30	0,95	0,84	0,75	0,66
15	1,00	0,89	0,79	0,69
0	1,04	0,94	0,83	0,73
-15	1,12	0,99	0,88	0,77
-30	1,19	1,05	0,93	0,82

NOTE The reference value corresponds to 0 m altitude and a temperature of $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.2.6 Evaluation des charges de vent sur les éléments et composants des lignes

6.2.6.1 Charges de vent sur les conducteurs

Le vent agit sur les conducteurs par des charges dues à la pression qu'il exerce et en augmentant la tension mécanique.

La charge (A_c), en N, due à la pression du vent sur une portée de longueur L (portée-vent), appliquée au niveau du support et soufflant à un angle Ω par rapport aux conducteurs, se calcule au moyen de l'expression suivante, en reprenant la grandeur q_0 de l'équation (7).

$$A_c = q_0 C_{xc} G_c G_L d L \sin^2 \Omega \quad (8)$$

où

C_{xc} est le coefficient de traînée du conducteur, considéré comme étant égal à 1,00 pour les conducteurs toronnés et les vitesses de vent généralement considérées. On peut également utiliser d'autres valeurs, issues de mesurages directs ou d'essais en soufflerie.

G_c est le facteur combiné de vent pour les conducteurs (voir Figure 3), et dépendant de la hauteur z et du type de terrain.

G_L est le facteur de portée (voir Figure 4).

d est le diamètre du conducteur (m).

L est la portée-vent du support, égale à la moitié de la somme des longueurs des portées adjacentes au support.

Ω est l'angle d'incidence du vent par rapport au conducteur (Figure 6).

L'effet total du vent sur les conducteurs en faisceaux sera considéré comme égal à la somme des efforts sur les sous-conducteurs, sans tenir compte de l'effet de masque possible d'un des sous-conducteurs sur un autre.

La hauteur à prendre en compte pour les conducteurs est le centre de gravité des conducteurs suspendus. Elle se situe théoriquement au niveau du tiers inférieur de la flèche. Dans les calculs concernant les supports des lignes de transport, on peut admettre que z est égal à la hauteur du point de fixation du conducteur au support (armement en nappe) ou du conducteur central (lignes à deux circuits). Ces hypothèses relatives aux conducteurs sont prudentes et compensent la hauteur accrue du câble de garde au faite du support.

L'équation générale destinée à calculer les forces exercées par le vent sur un conducteur porté par un support d'angle est fournie en A.4.6.

Des valeurs autres que celles des Figures 3 et 4 peuvent être utilisées dès lors que l'on dispose des données pertinentes et de modèles validés.