

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60913

Première édition
First edition
1988-12

Lignes aériennes de traction électrique

Electric traction overhead lines



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60913: 1988

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60913**

Première édition
First edition
1988-12

Lignes aériennes de traction électrique

Electric traction overhead lines

© IEC 1988 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

	Pages
PREAMBULE	4
PREFACE	4
 Articles	
 SECTION UN - GENERALITES	
1.1 Domaine d'application et objet.....	6
1.2 Termes et définitions	6
 SECTION DEUX - EXECUTION DES LIGNES	
2.1 Dispositions générales	12
2.2 Conducteurs	28
2.3 Isolement	30
2.4 Supports	34
2.5 Fondations	38
 SECTION TROIS - ESSAIS	
3.1 Essais des isolateurs	40
3.2 Essai d'isolement des lignes	40
3.3 Essais des supports	42

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
 Clause	
 SECTION ONE - GENERAL	
1.1 Scope and object	7
1.2 Terms and definitions	7
 SECTION TWO - INSTALLATION OF LINES	
2.1 General provisions	13
2.2 Conductors	29
2.3 Insulation	31
2.4 Supports	35
2.5 Foundations	39
 SECTION THREE - TESTS	
3.1 Tests on insulators	41
3.2 Insulation test on lines	41
3.3 Tests on supports	43

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

LIGNES AERIENNES DE TRACTION ELECTRIQUE

PREAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PREFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 9 de la CEI: Matériel de traction électrique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
9(BC)272 9(BC)272A	9(BC)276

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n° 38 (1983): Tensions normales de la CEI.
- 50(811): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), chapitre 811: Traction électrique. (En préparation.)
- 60: Techniques des essais à haute tension.
- 383 (1983): Essais des isolateurs en matière céramique ou en verre destinés aux lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V.
- 449 (1973): Domaines de tensions des installations électriques des bâtiments.
- 652 (1979): Essais mécaniques des pylônes de lignes aériennes.
- 850 (1988): Tensions d'alimentation des réseaux de traction.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRIC TRACTION OVERHEAD LINES

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 9: Electric Traction Equipment.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
9(CO)272 9(CO)272A	9(CO)276

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Report indicated in the above table.

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 38 (1983): IEC standard voltages.
- 50(811): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 811: Electric traction. (In preparation).
- 60: High-voltage test techniques.
- 383 (1983): Tests on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000 V.
- 449 (1973): Voltage bands for electrical installations of buildings.
- 652 (1979): Loading tests on overhead line towers.
- 850 (1988): Supply voltages of traction systems.

LIGNES AERIENNES DE TRACTION ELECTRIQUE

SECTION UN - GENERALITES

1.1 Domaine d'application et objet

1.1.1 *Domaine d'application*

La présente norme est applicable aux lignes aériennes de traction électrique (selon la définition donnée au paragraphe 1.2.1) des chemins de fer, tramways et trolleybus.

Elle n'est pas applicable aux câbles d'alimentation montés hors de la voie.

Il est recommandé d'appliquer ces prescriptions aux lignes aériennes de traction électrique de construction nouvelle ou à l'occasion d'une transformation radicale de lignes existantes.

La présente norme doit être respectée en l'absence de règles ou normes nationales.

1.1.2 *Objet*

La présente norme a pour objet de fixer les prescriptions pour l'étude et la construction des lignes indiquées au paragraphe 1.1.1.

1.2 Termes et définitions

Les principaux termes applicables à la présente norme et leurs définitions sont spécifiés ci-après; pour d'autres termes et leurs définitions, se référer à la Publication 50(811) de la CEI (en préparation).

1.2.1 *Ligne aérienne de traction électrique*

Ensemble comprenant:

- la ligne aérienne de contact et les câbles d'alimentation;
- les supports ainsi que tous autres éléments servant à soutenir, désaxer et isoler les conducteurs;
- le circuit de retour (rail et/ou conducteurs);
- les éventuels câbles de terre et câbles parafoudres;
- l'appareillage électrique de coupure, de contrôle et de protection monté sur les supports;
- les transformateurs suceurs.

1.2.2 *Tension nominale d'une ligne aérienne de traction électrique*

Tension par laquelle la ligne est dénommée et qui est prise comme référence pour certaines caractéristiques de fonctionnement de la ligne.

ELECTRIC TRACTION OVERHEAD LINES

SECTION ONE - GENERAL

1.1 Scope and object

1.1.1 Scope

This standard is applicable to electric traction overhead lines (in accordance with the definition given in Sub-clause 1.2.1) for railways, tramways and trolleybuses.

It is not applicable to feeders remote from the track.

It is recommended that these provisions should be applied to electric traction overhead lines of new construction or when complete transformation of existing lines takes place.

In the absence of national regulations or standards, this standard shall be complied with.

1.1.2 Object

The purpose of this standard is to stipulate the provisions for the design and construction of the lines indicated in Sub-clause 1.1.1.

1.2 Terms and definitions

The principal terms and definitions applicable to this standard are specified as follows; for other terms and definitions, see IEC Publication 50(811) (in preparation).

1.2.1 *Electric traction overhead line*

A system consisting of the following:

- all overhead wiring, including the contact line and return, earthing or lightning protection cables and feeders;
- the foundations, supporting structures and any components supporting, registering or insulating the conductors;
- return circuit and earthing connections in and to rails;
- any earthing and lightning cables;
- equipment mounted on the supports for switching, detecting or protecting;
- booster transformers.

1.2.2 *Nominal voltage of an electric traction overhead line*

Voltage used to describe the line and taken as a reference for certain functional characteristics of the line.

1.2.3 *Ligne aérienne de contact*

Ligne électrique destinée à alimenter des véhicules en énergie électrique par l'intermédiaire d'organes de prise de courant et constituée par des conducteurs placés au-dessus (ou à côté) de la limite supérieure du gabarit des véhicules.

1.2.4 *Fil de contact*

Conducteur électrique d'une ligne aérienne de contact sur lequel appuie l'appareil de prise de courant.

1.2.5 *Artère ou câble d'alimentation*

Ligne électrique reliant la ligne aérienne de contact à une sous-station.

1.2.6 *Ligne aérienne de contact à suspension caténaire (ou à suspension longitudinale)*

Ligne aérienne de contact dans laquelle le ou les fils de contact sont suspendus à un ou plusieurs câbles porteurs longitudinaux (couramment appelée "ligne caténaire").

1.2.7 *Câble porteur longitudinal*

Câble longitudinal supportant soit directement, soit indirectement, le ou les fils de contact.

1.2.8 *Câble porteur principal ou porteur principal*

Câble porteur longitudinal supportant le porteur auxiliaire à l'aide de pendules.

1.2.9 *Câble porteur auxiliaire ou porteur auxiliaire*

Câble ou fil longitudinal suspendu au porteur principal et supportant directement, à l'aide de pendules, le ou les fils de contact.

1.2.10 *Transversal*

Fil ou câble normalement isolé électriquement, disposé transversalement par rapport aux voies et destiné:

- soit à supporter une ou plusieurs lignes aériennes de contact (transversal porteur);
- soit à équilibrer les efforts radiaux (transversal d'équilibre).

Un transversal peut, à son tour, être supporté par des câbles ou fils disposés sur un côté de la ligne aérienne de contact ("tirants longitudinaux") ou par des montants rigides.

1.2.11 *Pendule*

Organe assurant la suspension d'un transversal d'équilibre, d'un porteur auxiliaire ou d'un fil de contact à un transversal porteur ou à un câble porteur longitudinal.

1.2.3 *Overhead contact line*

Electrical conductor system intended to supply vehicles with electric energy by means of current collectors and comprising conductors placed above (or beside) the upper limit of the vehicle gauge.

1.2.4 *Contact wire*

Electric conductor of an overhead contact line with which the current collectors make contact.

1.2.5 *Feeder*

Electrical connection between contact line and sub-station.

1.2.6 *Overhead contact line with catenary suspension (or with longitudinal suspension)*

Overhead contact line where the contact wire or wires are suspended from one or more longitudinal catenaries.

1.2.7 *Catenary*

Longitudinal cable supporting the contact wire or wires either directly or indirectly.

1.2.8 *Main catenary*

Catenary supporting an auxiliary catenary by means of droppers.

1.2.9 *Auxiliary catenary*

Catenary suspended from the main catenary and supporting the contact wire or wires directly by means of droppers.

1.2.10 *Cross-span or span wire*

Wire or cable, normally electrically insulated, placed across the track and used:

- either to support one or more overhead contact lines (headspan);
- or to balance the radial forces (cross-span balance).

A cross-span wire may be supported by cables or wires arranged on one side of the overhead contact line ("longitudinal pull-off stays") or by rigid supports.

1.2.11 *Dropper*

Component used to suspend a cross-span registration, an auxiliary catenary or a contact wire from a headspan or a catenary.

1.2.12 *Équipement tendeur*

Disposition permettant de régler la tension mécanique des conducteurs.

1.2.13 *Tendeur automatique*

Dispositif utilisé dans un équipement tendeur pour maintenir automatiquement constante, dans certaines limites de température, la tension mécanique des conducteurs.

1.2.14 *Portée*

Partie de la ligne aérienne de contact située entre deux supports ou points de suspension successifs.

1.2.15 *Supports*

Éléments d'une ligne aérienne de traction électrique destinés à supporter l'ensemble des conducteurs et des isolateurs et les autres appareillages.

1.2.16 *Portique*

Support constitué par une poutre transversale et des poteaux implantés de part et d'autre des voies.

1.2.17 *Portique souple*

Portique dans lequel la poutre est remplacée par un ensemble de transversaux.

1.2.18 *Fondation*

Ouvrage généralement en béton, complètement ou partiellement enterré, destiné à fixer un support au terrain, afin d'en assurer la stabilité.

1.2.19 *Câble de terre ou câble de protection*

Câble ou fil métallique mis à la terre et/ou au rail, fixé aux supports pour assurer la protection des personnes et des installations en cas de défaut d'isolement. Ce câble peut en outre servir de conducteur de retour.

1.2.20 *Câble parafoudre ou câble de garde*

Câble ou fil métallique mis à la terre, monté au-dessus de la ligne aérienne de contact et destiné à la protéger contre les surtensions atmosphériques.

1.2.21 *Connexion électrique de rails*

Conducteur ayant pour but d'assurer la continuité électrique des rails au droit d'un joint.

1.2.12 *Tensioning equipment*

Arrangement enabling the mechanical tension of the conductors to be adjusted.

1.2.13 *Automatic tensioner*

Device used in tensioning equipment to automatically maintain constant the mechanical tension in the conductors within certain temperature limits.

1.2.14 *Span*

The overhead contact line from one support or suspension point to the next.

1.2.15 *Supports*

Those parts of an electric traction overhead line which support the conductors and their associated insulators, and other equipment.

1.2.16 *Portal structure*

Support consisting of a transverse beam and masts situated on either side of the tracks.

1.2.17 *Head-span suspension*

Portal arrangement in which the beam is replaced by an arrangement of cross-span wires.

1.2.18 *Foundation*

A construction, usually of concrete, completely or partly buried in the ground to which the support is attached, in order to ensure stability.

1.2.19 *Earth wire or ground wire*

Metal wire connecting supports to earth and/or to rail, to protect people and installations in case of insulation failure. This cable may also be used as return cable.

1.2.20 *Lightning protection cable*

Earthed metal wire, fitted above the overhead contact line to protect it against lightning.

1.2.21 *Rail joint bond*

Conductor ensuring the electrical continuity of rails at a joint.

1.2.22 Courants vagabonds

Parties du courant de retour, qui sur une partie au moins de leur parcours, empruntent des itinéraires (par exemple terre, canalisations) autres que le circuit de retour.

1.2.23 Voie en site propre

Voie (ou route) exclusivement destinée au trafic de chemins de fer, de tramways ou de trolleybus, tout autre type de circulation y étant interdit.

1.2.24 Pente (d'une ligne aérienne de contact)

Rapport entre la différence des hauteurs du fil de contact au-dessus du rail au droit de deux supports successifs et la longueur de la portée.

SECTION DEUX - EXECUTION DES LIGNES

2.1 Dispositions générales

2.1.1 Tension électrique

Les valeurs nominales des tensions et des fréquences des réseaux de traction sont spécifiées dans le tableau I. Ce sont celles qui sont indiquées dans la Publication 850 de la CEI.

TABLEAU I

Type de réseau	Tension nominale ¹⁾ V	Fréquence nominale Hz
A courant continu	600 ²⁾ 750 1 500 3 000	- - - -
A courant alternatif monophasé	6 250 ³⁾ 15 000 25 000 50 000	50 : 60 16 2/3 50 : 60 50 : 60
1) En valeur efficace pour les réseaux à courant alternatif. 2) Il est expressément recommandé, pour les installations de traction à courant continu pour tramways (ou) voies ferrées d'intérêt local, qu'à l'avenir les tensions nominales d'alimentation soient conformes à la gamme des 750 V, 1 500 V et 3 000 V. 3) Il est recommandé de n'utiliser la tension de 6 250 V que lorsque les conditions locales rendent impossible l'adoption de la tension de 25 000 V.		

1.2.22 *Stray currents*

Portions of the return current which, over at least part of their course, follow paths other than the return circuit (e.g., earth, pipes).

1.2.23 *Reserved track*

Track (or road) intended solely for railways, tramways or trolleybus traffic, and forbidden to any other type of traffic.

1.2.24 *Gradient (of an overhead contact line)*

The ratio of the difference measured in height of the contact wire above rail level at two successive supports to the length of the span.

SECTION TWO - INSTALLATION OF LINES

2.1 General provisions

2.1.1 *Line voltage*

The nominal values of the voltages and frequencies of the traction systems are specified in Table I. They are indicated in IEC Publication 850.

TABLE I

Type of system	Nominal voltage ¹⁾ V	Nominal frequency Hz
Direct current	600 ²⁾ 750 1 500 3 000	- - - -
Single phase alternating current	6 250 ³⁾ 15 000 25 000 50 000	50 : 60 16 2/3 50 : 60 50 : 60
1) R.M.S. values for systems. 2) It is expressly recommended that in future, in d.c. system installations for tramways (or) local railways, the nominal supply voltages should conform to the range 750 V, 1 500 V and 3 000 V. 3) It is recommended that the voltage of 6 250 V should only be used when the local conditions make it impossible to adopt the voltage of 25 000 V.		

Dans les installations existantes ou leurs extensions, on peut admettre éventuellement des valeurs de tension et de fréquence différentes de celles qui sont indiquées dans le tableau I, tandis que, pour les installations nouvelles ou en cours de renouvellement complet, les valeurs nominales du tableau sont expressément recommandées.

Les valeurs des limites "la plus basse" et "la plus élevée" (suivant les définitions de la Publication 38 de la CEI), entre lesquelles la tension des réseaux de traction peut varier, sont données dans la Publication 850 de la CEI.

2.1.2 *Systèmes de suspension des fils de contact*

La suspension des fils de contact peut être du type caténaire ou du type sans porteurs longitudinaux.

La suspension caténaire est particulièrement indiquée pour les lignes où des vitesses élevées sont atteintes.

En général, afin d'assurer un captage satisfaisant, il est avantageux, sauf lorsque les vitesses sont faibles, d'employer des tendeurs automatiques pour les fils de contact et, dans le cas de grandes vitesses, également pour les porteurs.

2.1.3 *Paramètres d'environnement à considérer pour la conception des lignes aériennes de traction électriques*

Les paramètres d'environnement à considérer pour la conception des lignes aériennes de traction électrique sont principalement: la température ambiante, la vitesse du vent, l'ensoleillement, l'altitude, le niveau isokéraunique, la pollution, la configuration du sol, les conditions géophysiques et, le cas échéant, l'épaisseur des manchons de glace et le poids de la neige sur les équipements.

Les règles nationales pourront avantageusement partager le territoire en zones dans lesquelles les valeurs des différents paramètres (minimale, moyenne, maximale, etc.) sont uniformisées et spécifiées (zones d'unification).

2.1.4 *Charge due à la pression du vent*

Pour la vérification de la stabilité des différentes parties des lignes aériennes de traction électrique, il faut considérer la charge causée par le vent.

Pour calculer cette charge, on admet que le vent souffle horizontalement et qu'il exerce sa force perpendiculairement à la surface atteinte.

In existing installations or their extensions, voltage and frequency values different from those shown in Table I may be allowed. For new installations or those undergoing complete renewal, the nominal values in the table are specifically recommended.

The values of the "lowest" and "highest" limits (in accordance with the definitions in IEC Publication 38), between which the voltage of the traction systems may vary, are given in IEC Publication 850.

2.1.2 *Suspension systems for contact wires*

Contact wires may be suspended from catenaries or from direct tramway (non-catenary) type supports.

Catenary type suspension is particularly recommended for lines where high speeds are required.

Generally speaking, to ensure satisfactory current collection, it is beneficial, except when speeds are low, to use automatic tensioning for the contact wires. For high speeds, both catenary and contact wire should be automatically tensioned.

2.1.3 *Environmental parameters to be considered when designing electric traction overhead lines*

The environmental parameters to be considered when designing electric traction overhead lines are mainly: the ambient temperature, the wind speed, the solar intensity, the altitude, the isokeraunic level, the pollution, the configuration of the ground, the geophysical conditions and, where applicable, the thickness of ice coatings, and the weight of snow on the equipment.

National standards and regulations may provide a useful division of territory into zones in which the values of the various parameters (minimum, normal, maximum, etc.) are standardized and specified (standardization zones).

2.1.4 *Load due to wind pressure*

In order to check the stability of the various parts of electric traction overhead lines, it is necessary to consider the load caused by wind.

To calculate this load, it is assumed that the wind blows horizontally and exerts its force perpendicular to the surface in question.

En général, on utilise des formules telles que les suivantes:

a) vent sur les surfaces planes:

$$F = C_1 V^2 S$$

b) vent sur les surfaces cylindriques:

$$F = C_2 V^2 d l$$

où:

F = charge

C_1 et C_2^* = coefficients qui, en général, dépendent de la dimension et de la nature de la surface, de sa hauteur au-dessus du sol, de la configuration et de la rugosité du terrain, des unités de mesure utilisées et, pour C_1 , également de la forme de la surface

V = vitesse du vent

S = surface plane atteinte par le vent

d = diamètre de la surface cylindrique atteinte par le vent

l = longueur de la surface cylindrique atteinte par le vent

2.1.5 Distances d'isolement entre parties sous tension des lignes de contact et masse des ouvrages

En ce qui concerne les distances d'isolement dans l'air entre masse des ouvrages et parties conductrices nues sous tension des lignes de contact, des câbles d'alimentation et des organes de prise de courant, il est recommandé de ne pas descendre normalement en dessous des valeurs minimales figurant dans le tableau II en fonction des tensions nominales respectivement pour le cas des distances à l'état statique et des distances lors des mouvements fugitifs tels que les soulèvements momentanés au passage des pantographes (distances dynamiques).

Les valeurs minimales du tableau II peuvent être majorées dans les zones à risque spécial (proximité de la mer, circulation d'engins thermiques, pollution industrielle, brouillard, montagnes, zones tropicales, etc.).

Par contre, dans des cas exceptionnels et pourvu que les conditions d'exploitation et climatiques le permettent, des distances plus faibles peuvent être admises sans qu'elles ne soient jamais inférieures aux valeurs dynamiques minimales absolues indiquées dans le tableau III.

* Les valeurs de C_1 et C_2 seront déterminées en s'inspirant des publications pour les lignes aériennes, rédigées par le Comité d'Etudes n° 11 de la CEI.

Generally speaking, formulae such as the following are used:

a) wind on flat surfaces:

$$F = C_1 V^2 S$$

b) wind on cylindrical surfaces:

$$F = C_2 V^2 d l$$

where:

F = load

C_1 and C_2^* = coefficients which, generally speaking, depend on the dimension and nature of the surface, the height above ground, the configuration and the roughness of the ground, the units of measurement used and, for C_1 , also the form of the surface

V = wind speed

S = flat surface exposed to the wind

d = diameter of the cylindrical surface exposed to the wind

l = length of the cylindrical surface exposed to the wind

2.1.5 *Clearances between live parts of contact lines and bodies of structures*

For the air clearances between bodies of structures and live uninsulated parts of contact lines, feeders and current collectors, it is recommended that clearances should not normally be less than the minimum values shown in Table II appropriate to the nominal voltages for static and dynamic clearances, respectively. The dynamic clearances take into account temporary movements of the line during the passage of the pantographs.

The minimum values in Table II can be increased in zones of particular risk (near the sea, heavy traffic involving heat engines, industrial pollution, fog, in mountainous and tropical regions, etc.).

Alternatively, in exceptional cases, and provided the operating and climatic conditions allow, smaller clearances may be used provided that they are not lower than the absolute minimum dynamic values shown in Table III.

* The values of C_1 and C_2 will be calculated from the publications for overhead electrical lines prepared by IEC Technical Committee No. 11.

TABLEAU II

Type de réseau	Tension nominale V	Distance d'isolement minimale entre lignes et ouvrages	
		Statique (mm)	Dynamique (mm)
A courant continu	600 - 750 1 500 3 000	25 ¹⁾ 150 ²⁾ 150	25 ¹⁾ 100 ²⁾ 100
A courant alternatif monophasé	6 250 15 000 25 000 50 000	100 250 270 530	90 150 170 350
1) Pour les tensions de 600 V et 750 V, les distances minimales résultent davantage de phénomènes physiques que de considérations électriques. 2) Pour la tension de 1 500 V, il y a de sensibles différences entre les valeurs couramment utilisées dans les différents pays: se référer au dernier alinéa du paragraphe 1.1.1.			

TABLEAU III

Type de réseau	Tension nominale V	Distance d'isolement dynamique minimale absolue mm
A courant continu	600-750 1 500 3 000	25 ¹⁾ 60 ²⁾ 60
A courant alternatif monophasé	6 250 15 000 25 000 50 000	60 100 150 330
1) Voir note 1) du tableau II. 2) Voir note 2) du tableau II.		

2.1.6 Distances d'isolement entre parties sous tension des lignes de contact et masse des véhicules

En ce qui concerne les distances d'isolement dans l'air entre la masse des véhicules et les parties conductrices nues sous tension de la ligne de contact et des câbles d'alimentation, il est recommandé de ne pas descendre normalement en dessous des valeurs minimales figurant dans le tableau IV en fonction des tensions nominales, respectivement à l'état statique et à l'état dynamique. Les distances à l'état dynamique tiennent compte des mouvements fugitifs de la ligne de contact et des véhicules.

Les valeurs minimales du tableau IV peuvent être majorées dans les zones à risque spécial (proximité de la mer, nombreuses circulations d'engins thermiques, pollutions industrielles, brouillard, montagnes, zones tropicales, etc.).

TABLE II

Type of system	Nominal voltage V	Minimum clearance between line and structures	
		Static (mm)	Dynamic (mm)
Direct current	600 - 750 1 500 3 000	25 ¹⁾ 150 ²⁾ 150	25 ¹⁾ 100 ²⁾ 100
Single-phase alternating current	6 250 15 000 25 000 50 000	100 250 270 530	90 150 170 350
1) For voltages of 600 V and 750 V, the minimum clearances result more from physical phenomena than from electrical considerations. 2) For the voltage of 1 500 V, there are appreciable differences between the values normally used in the various countries: see the last paragraph of Sub-clause 1.1.1.			

TABLE III

Type of system	Nominal voltage V	Absolute minimum dynamic clearance mm
Direct current	600-750 1 500 3 000	25 ¹⁾ 60 ²⁾ 60
Single-phase alternating current	6 250 15 000 25 000 50 000	60 100 150 330
1) See Note 1) of Table II. 2) See Note 2) of Table II.		

2.1.6 Clearances between live parts of contact lines and bodies of vehicles

For the air clearances between bodies of vehicles and the live un-insulated parts of the contact line or feeders, it is recommended that clearances should not normally be less than the minimum static and dynamic values shown in Table IV in relation to the nominal voltages. The dynamic clearances take into account temporary movements of the contact line and the vehicles.

The minimum values in Table IV may be increased in zones of particular risk (near the sea, heavy traffic involving heat engines, industrial pollution, fog, mountainous and tropical regions, etc.)

Par contre, dans des cas exceptionnels et pourvu que les conditions d'exploitation et climatiques le permettent, des distances plus faibles peuvent être admises sans qu'elles soient jamais inférieures aux valeurs du tableau III.

TABLEAU IV

Type de réseau	Tension nominale V	Distance d'isolement minimale entre lignes et véhicules	
		Statique (mm)	Dynamique (mm)
A courant continu	600 - 750 1 500 3 000	25 ¹⁾ 150 ²⁾ 200	25 ¹⁾ 100 ²⁾ 110
A courant alternatif monophasé	6 250 15 000 25 000 50 000	170 250 290 550	90 150 190 450
1) Voir note 1) du tableau II. 2) Voir note 2) du tableau II.			

2.1.7 Hauteur des fils de contact et des câbles d'alimentation

Les valeurs minimales de la hauteur des fils de contact et des câbles d'alimentation non isolés au-dessus du rail, considérées seulement du point de vue de la sécurité vis-à-vis des personnes et compte tenu des différentes situations (passage à niveau, lignes en tunnel, voisinage des aéroports, etc.), sont indiquées dans le tableau V, dans les conditions prévues au paragraphe 2.2.5.

Bien entendu, dans tous les cas, la hauteur minimale des fils de contact et des câbles d'alimentation doit respecter également les distances indiquées au paragraphe 2.1.6, compte tenu du gabarit du véhicule utilisé.

TABLEAU V

Type de réseau	Tension nominale V	Hauteur minimale (m)	
		Voie en site propre	Voie non en site propre
A courant continu	600 750 1 500 3 000	4,40	4,80
A courant alternatif monophasé	6 250 15 000 25 000 50 000	4,57	4,80

In exceptional cases, and provided the operating and climatic conditions allow, smaller clearances may be used, provided that they are not less than the values in Table III.

TABLE IV

Type of system	Nominal voltage V	Minimum clearance between lines and vehicles	
		Static (mm)	Dynamic (mm)
Direct current	600 - 750 1 500 3 000	25 ¹⁾ 150 ²⁾ 200	25 ¹⁾ 100 ²⁾ 110
Single-phase alternating current	6 250 15 000 25 000 50 000	170 250 290 550	90 150 190 450
1) See Note 1) of Table II. 2) See Note 2) of Table II.			

2.1.7 Height of contact wires and feeders

The minimum values of the heights of contact wires and uninsulated feeders above rail level, considered only from the point of view of personal safety, and taking into account the various situations (level crossings, lines in tunnels, proximity of airports, etc.), are given in Table V, and shall comply with conditions prescribed in Sub-clause 2.2.5.

In all cases, the minimum height of contact wires and feeders shall also comply with the clearances given in Sub-clause 2.1.6, taking into account the vehicle gauge used.

TABLE V

Type of system	Nominal voltage V	Minimum height (m)	
		Track on own site	Track not on own site
Direct current	600 750 1 500 3 000	4.40	4.80
Single-phase alternating current	6 250 15 000 25 000 50 000	4.57	4.80

2.1.8 Flèche du fil de contact

Le long d'une portée entre deux supports successifs, la flèche (positive ou négative) du fil de contact doit, pour toute température ambiante comprise entre les valeurs minimale et maximale à prévoir (voir paragraphe 2.1.3), conserver des valeurs assez faibles pour être compatibles avec un captage correct du courant.

En général, les valeurs maximales admissibles de la flèche diminuent au fur et à mesure que la vitesse augmente.

2.1.9 Dénivellement entre supports

Il est souhaitable que la hauteur du fil de contact au-dessus du rail (ou de la route) soit la même à chaque support.

Si, pour des conditions locales (tunnels, etc.), une variation de hauteur s'impose, il faut la réaliser avec une pente d'autant plus faible que la vitesse augmente et, en tout cas, il ne faut pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau VI en fonction de la vitesse.

Il est recommandé d'interposer, au début et à la fin, une portée de transition ayant une pente moitié.

TABLEAU VI

Vitesse (km/h)	Pente maximale (paragraphe 1.2.24) (pour mille)
10	40
30	20
60	10
120	6
160	4
200	3

2.1.10 Entraxe et dispositions des fils de trolleybus

L'entraxe normal entre les fils des deux pôles d'alimentation d'une ligne de trolleybus doit avoir une valeur comprise entre 550 mm et 600 mm. Cette valeur doit être respectée avec une tolérance de ± 50 mm.

Dans le cas de lignes dont un pôle est mis à la terre, ce sont les fils de polarité négative qui normalement sont mis à la terre.

Sur les lignes à double voie, les fils de polarité négative sont normalement disposés à l'extérieur.

Si les fils mis à la terre ne sont pas à l'extérieur, il faut l'indiquer d'une façon claire au personnel d'exploitation.

2.1.11 Distances de sécurité des conducteurs

Les distances de sécurité à respecter entre, d'une part, les conducteurs des lignes de contact et, d'autre part, le terrain, les bâtiments ou d'autres lignes électriques, sont fixées par les règles nationales.

2.1.8 *Sag of the contact wire*

The sag (positive or negative) of the contact wire between two successive supports, shall, for any ambient temperature between the minimum and maximum values to be prescribed (see Sub-clause 2.1.3), be limited to fairly low values in order to maintain good current collection.

Generally speaking, the maximum permitted value of sag is reduced as the speed increases.

2.1.9 *Variation in level between supports*

It is desirable for the height of the contact wire above the rail (or road) to be the same at each support.

If, due to local conditions (tunnels, etc.), a variation in height is necessary, this shall be achieved with as small a gradient as possible and it shall not exceed the values in Table VI given as a function of speed.

It is recommended that a transition span with half the gradient be inserted at the beginning and end of the graded section.

TABLE VI

Speed (km/h)	Maximum gradient (Sub-clause 1.2.24) (per thousand)
10	40
30	20
60	10
120	6
160	4
200	3

2.1.10 *Distance between centres and arrangement of trolleybus wires*

The normal distance between centres of the wires of the two supply poles of a trolleybus line shall be between 550 mm and 600 mm, with ± 50 mm tolerance.

Where one pole is earthed, the negative polarity wires shall normally be connected to earth.

On double track lines, the negative polarity wires are normally placed on the outside.

If the earthed wires are not on the outside, this shall be clearly indicated to operating staff.

2.1.11 *Safety clearances of conductors*

The safety clearances to be observed between the conductors of contact lines and the ground, buildings or other electric lines, are stipulated by national standards or regulations.

Ces règles pourront prévoir une dérogation aux distances normales à l'intérieur des terrains protégés par une enceinte et réservés au personnel attaché à l'exploitation.

Les mêmes règles pourront prévoir aussi qu'on remédie au manque de distance par la mise en place de protections opportunes entre parties accessibles et conducteurs, par exemple dans le cas de passages supérieurs.

2.1.12 *Distances entre poteaux et ouvrages divers*

Les distances de sécurité à respecter entre, d'une part, les poteaux des lignes aériennes de traction électrique et, d'autre part, les ouvrages divers tels que les voies d'autres chemins de fer, de tramways, de funiculaires ou les routes, conduites de gaz, etc., sont fixées par les règles nationales.

2.1.13 *Distance entre poteaux et rail*

La distance entre poteaux et rail est fixée par les règles nationales.

2.1.14 *Emplacement des poteaux pour les lignes de tramways et de trolleybus*

Lorsque les tramways ou les trolleybus n'utilisent pas de voies réservées, les poteaux supportant les lignes de contact doivent être installés en dehors des zones empruntées par la circulation et placés de façon à ne gêner ni la circulation des piétons ni la circulation routière.

2.1.15 *Voisinage des aéroports*

Au voisinage des aéroports, les lignes de traction électrique doivent être établies et signalées en accord avec les prescriptions des organismes chargés de la navigation aérienne.

En particulier, on devra rechercher des solutions constructives telles que les supports et tous les conducteurs soient le plus bas possible.

2.1.16 *Liaison à la terre des supports et des structures métalliques diverses*

a) *Réseaux à haute tension*¹⁾

Pour les supports métalliques accessibles²⁾ des lignes aériennes de traction électrique à haute tension, il faut éviter que, lors d'une défaillance de l'isolement, il puisse se produire entre les supports et la terre des tensions dangereuses.

1) La valeur qui définit la limite entre basse et haute tension est fixée par les règles nationales. En l'absence de telles règles, les valeurs à prendre en considération sont celles fixées par la Publication 449 de la CEI.

2) Sont à considérer comme supports accessibles, ceux dont les distances aux emplacements accessibles du terrain ou des bâtiments sont inférieures aux distances de sécurité prescrites pour les conducteurs au paragraphe 2.1.11.

These standards or regulations may provide for a relaxation from the normal clearances within fenced areas where access is restricted to operating staff.

The same standards and regulations can also provide for reduced clearances which shall be remedied by installing appropriate protection between accessible parts and conductors, for example, in the case of overbridges.

2.1.12 *Clearances between masts and various structures*

The safety clearances to be observed between the masts of electric traction overhead lines and various structures, such as the tracks of other railways, tramways, funiculars or roads, gas mains, etc., are stipulated in the national standards or regulations.

2.1.13 *Clearance between masts and rail*

The clearance between masts and rail shall be as stipulated in national standards or regulations.

2.1.14 *Sitings of masts for tram and trolleybus lines*

When trams or trolleybuses do not use separate tracks or lanes, the masts supporting the contact lines shall be installed away from zones used by traffic and situated so that they do not interfere with pedestrian or road traffic.

2.1.15 *Proximity of airports*

Near airports, electric traction lines shall be installed, and their position indicated, in accordance with the requirements of the bodies responsible for air navigation.

In particular, constructive solutions to reach the lowest possible level for supports and conductors should be sought.

2.1.16 *Earthing of supports and miscellaneous metal structures*

a) High voltage systems¹⁾

Concerning accessible metal supports²⁾ of high voltage electric traction overhead lines, there should be no possibility, in the event of insulation failure, of dangerous voltages occurring between the supports and earth.

1) The values of high and low voltages and their limits are stipulated in national standards and regulations. In the absence of such standards or regulations, the values to be taken into consideration are those stipulated in IEC Publication 449.

2) A support is considered as accessible where the clearance from the support to the ground or building is less than the safety clearance prescribed for conductors in Sub-clause 2.1.11.

A cet effet, il sera nécessaire de relier lesdits supports au rail, étant donné que, ordinairement, le rail représente la terre la plus efficace.

Lorsque les liaisons au rail ne sont pas réalisables pour quelque raison, il sera nécessaire de relier les supports à un réseau de terre ayant une résistance de terre de valeur suffisamment faible.

Il est admis d'insérer dans les liaisons au rail des intervalles de décharge (limiteurs de tension) afin de ne pas gêner les circuits de signalisation et/ou, pour les réseaux à courant continu, de ne pas engendrer de courants vagabonds dangereux.

Il est aussi admis de relier plusieurs supports entre eux par un câble de terre (voir paragraphe 1.2.19) continu ou subdivisé en tronçons (isolés entre eux) et de réaliser un nombre limité de liaisons avec le rail ou le réseau de terre. Dans les réseaux à courant alternatif, il faut éviter d'avoir sur ce câble des tensions induites dangereuses; pour cela, les distances entre les liaisons directes au rail ou à la terre devront être convenablement faibles.

Dans le cas de supports en béton ou en bois, il est recommandé de relier au rail ou à la terre, dans les conditions indiquées ci-dessus, les éléments métalliques de fixation des isolateurs sur le support, en utilisant autant que possible, dans le cas du béton, l'armature métallique interne du support, pourvu qu'elle soit capable de supporter sans dommage le courant de court-circuit.

De plus, toute structure métallique accessible dépassant une longueur spécifiée par les règles nationales et située à une distance des conducteurs sous tension inférieure à une limite spécifiée par les règles nationales, doit être aussi reliée au rail ou à la terre, en même temps que les supports ou séparément.

Dans tous les cas énumérés ci-dessus, les conducteurs employés pour les liaisons au rail ou à la terre doivent avoir une section suffisante pour supporter le courant de court-circuit.

b) Réseau à basse tension

Dans les réseaux à basse tension, les liaisons au rail ou à la terre des supports accessibles peuvent être remplacées par l'emploi d'un isolement double ou, dans des cas spéciaux, d'un isolement renforcé (voir paragraphe 2.3.1).

Pour la protection des autres structures métalliques, on applique les règles nationales.

2.1.17 Connexions électriques entre rails

Partout où les rails de roulement sont utilisés pour la conduction du courant de traction, il est avantageux de réduire le plus possible leur résistance longitudinale, notamment en courant continu afin de réduire aussi les courants vagabonds.

Il est donc usuel d'appliquer une connexion électrique (voir paragraphe 1.2.21) à chaque joint non soudé qui ne doit pas être isolé en raison d'autres exigences.

For this purpose, it is necessary to connect such supports to the rail, as normally the rail represents the most effective earth.

When supports cannot be connected to the rail, for whatever reason, they shall be connected to an earthing system having a sufficiently low earthing resistance value.

Spark gaps (voltage limiters) may be inserted in the connections to the rail to avoid interference with the signalling circuits. For direct current systems, spark gaps inserted in the circuit also prevent dangerous stray currents.

Several such supports may be connected by an earthing wire (see Sub-clause 1.2.19) which may be continuous or subdivided into sections (mutually insulated), and a reduced number of connections can be made with the rail or the earthing system. In the case of alternating current systems, dangerous induced voltages in this cable should be avoided; for this purpose, the longitudinal distance between the connections to the rail or the earth system should be suitably restricted.

In the case of concrete or wood supports, it is recommended that the metal components fixing the insulators to the structure should be connected to the rail or to the earth system as indicated previously. In the case of concrete structures, the internal metal reinforcement should be used where practical, provided that it is able to carry the short-circuit current without damage.

Additionally, any accessible metal structure having a length greater than that specified by national regulations and placed at a distance from the live conductors less than the limit specified by the national regulations shall also be connected to the rail or to the earth system, together with the supports or separately.

In all cases listed above, the conductors used for connections to the rail or to the earth system shall be of sufficient cross-sectional area to withstand the rated short-circuit current.

b) Low-voltage system.

In the case of low voltage systems, the connections from the accessible supports to the rail or the earth system can be replaced by double insulation or, in special cases, by reinforced insulation (see Sub-clause 2.3.1).

For the protection of the other metal structures, national standards or regulations should be applied.

2.1.17 Rail bonds

Wherever the running rails are used to conduct traction current, it is beneficial to reduce their longitudinal resistance as much as possible, especially in the case of direct current, as this minimizes the problems caused by stray currents.

It is therefore normal practice to use a rail joint bond (see Sub-clause 1.2.21) at each non-welded rail joint which does not have to be insulated because of other requirements.

De même, sauf empêchement en raison d'autres exigences, il est avantageux de relier entre eux les deux rails de la même voie ou les rails de plusieurs voies par des connexions transversales.

2.1.18 *Connexions transversales entre conducteurs de la ligne de contact*

Afin de réduire les chutes de tension en ligne, la réalisation de connexions transversales entre les conducteurs de même polarité de lignes de contact est, en général, recommandée.

Il faut cependant veiller à ne pas trop compliquer les circuits et à assurer toujours leur protection électrique.

2.1.19 *Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique*

Suivant le niveau d'isolement des lignes de traction électrique d'une part, l'intensité et la fréquence des surtensions d'origine atmosphérique d'autre part, il peut être utile d'installer des parafoudres ou un câble parafoudre (voir paragraphe 1.2.20) pour réduire les effets dangereux des décharges directes ou indirectes de la foudre.

2.2 **Conducteurs**

2.2.1 *Fils de contact*

Pour les fils de contact, l'emploi des types rainurés est recommandé.

Les fils doivent répondre aux conditions fixées par la fiche 870 de l'UIC* intitulée "Spécifications techniques concernant la fourniture de fils rainurés pour lignes de contact" ou par la norme nationale traitant de ce sujet.

2.2.2 *Autres fils et câbles*

Pour les autres fils et câbles utilisés sur les lignes aériennes de traction électrique, le type et les caractéristiques doivent être choisis suivant l'utilisation.

2.2.3 *Calcul mécanique des conducteurs*

La compatibilité des sollicitations mécaniques des conducteurs et de la résistance du matériel doit être vérifiée en utilisant les hypothèses de charge suivantes:

- a) température ambiante moyenne et absence de vent;
- b) conditions résultant des combinaisons prévisibles les plus défavorables des valeurs des paramètres d'environnement considérés au paragraphe 2.1.3.

La charge causée par le vent sera calculée suivant le paragraphe 2.1.4.

* Union Internationale des Chemins de fer.

Similarly, unless prevented from doing so because of other requirements, it is beneficial to connect together the two rails of the same track or the rails of several tracks by transverse bonds.

2.1.18 *Cross connection between conductors of the contact line*

In order to reduce voltage drop in the overhead system it is recommended that cross connections be installed between conductors of the same electrical section.

However, care shall be taken to ensure that the circuits are not excessively complicated and that they are always protected electrically.

2.1.19 *Protection against lightning strikes*

Depending on the level of insulation of electric traction lines on one hand, on the intensity and frequency of lightning strikes on the other, it may be worth installing lightning protectors or a lightning wire (see Sub-clause 1.2.20) to protect the overhead line system, from the dangerous effects of direct or indirect lightning.

2.2 **Conductors**

2.2.1 *Contact wires*

It is recommended that grooved contact wires be used.

The wires shall comply with the requirements of UIC* Leaflet No. 870: Technical specifications concerning the supply of grooved wires for contact lines, or in the appropriate national standard.

2.2.2 *Other wires and cables*

The type and characteristics of other wires and cables used on electric traction overhead lines shall be chosen so as to satisfy the use for which they are intended.

2.2.3 *Mechanical design of conductors*

The suitability of the basic material and its compatibility with the imposed mechanical stress shall be checked using the following loading hypotheses:

- a) average ambient temperature and absence of wind;
- b) conditions resulting from the most onerous values of the environmental parameters considered in Sub-clause 2.1.3 that can be anticipated.

The load caused by wind shall be calculated in accordance with Sub-clause 2.1.4.

* International Union of Railways.

La charge à la traction en service des conducteurs ne doit pas dépasser:

- dans l'hypothèse *a*), 30% de leur charge de rupture;
- dans les hypothèses *b*), 40% de leur charge de rupture.

Dans le cas de conducteurs en cuivre, en bronze à l'argent ou en bronze au cadmium dont la tension mécanique est réglée automatiquement, il est admis que la charge à la traction en service ne dépasse pas, dans toutes les hypothèses, 50% de leur charge de rupture.

Pour les fils de contact, toutes ces vérifications doivent être faites avec la section minimale à prévoir en fonction de l'usure maximale admise en exploitation.

2.2.4 Vérification des distances d'isolement

Les règles nationales établiront le champ de variabilité des paramètres d'environnement (voir paragraphe 2.1.3) dans lequel doivent être vérifiées les distances d'isolement indiquées aux paragraphes 2.1.5 et 2.1.6 et les distances de sécurité du paragraphe 2.1.11.

2.2.5 Vérification de la hauteur minimale

Le calcul pour la vérification de la hauteur minimale des fils de contact et des câbles d'alimentation suivant le paragraphe 2.1.7, doit être fait en se référant aux fils en position de repos (absence de vent et de pantographes) à la température ambiante maximale ou sous la charge de glace si elle est à prévoir (voir paragraphe 2.1.3).

2.3 Isolement

2.3.1 Types d'isolement

L'isolement d'une ligne aérienne de traction électrique peut être assuré par des isolateurs uniques, ou par des ensembles constitués de plusieurs isolateurs montés en série.

On dit que l'isolement est "simple" lorsque les tensions d'essai des isolateurs uniques, ou des ensembles constituant l'isolement, correspondent aux valeurs choisies conformément aux indications données dans le paragraphe 2.3.2. Si ces valeurs sont largement dépassées, l'isolement est dit "renforcé".

L'isolement est dit "double" s'il est constitué par deux isolateurs uniques ou deux ensembles en série, chacun d'eux étant séparé de l'autre et ayant les tensions d'essai correspondant aux valeurs choisies conformément aux indications données au paragraphe 2.3.2.

The tensile working load of conductors in service shall not exceed:

- in the case of hypothesis *a*), 30% of their ultimate breaking load;
- in the case of hypothesis *b*), 40% of their ultimate breaking load.

For copper, silver bronze or cadmium bronze conductors whose mechanical tension is automatically regulated, it is accepted that the tensile working load in service shall not exceed, under any circumstances, 50% of their ultimate breaking loads.

For contact wires, all the above checks shall be undertaken using the minimum cross-sectional area permitted in relation to the maximum wear allowed.

2.2.4 *Checking of electrical clearances*

Ranges of values of the environmental parameters (see Sub-clause 2.1.3), within which the clearances as indicated in Sub-clauses 2.1.5 and 2.1.6 and the safety clearances in Sub-clause 2.1.11 shall be verified, shall be established according to national standards or regulations.

2.2.5 *Checking of the minimum height*

The minimum height of contact wires and feeders shall be determined in accordance with Sub-clause 2.1.7, taking into consideration wires in the rest position (absence of wind and pantographs) at maximum ambient temperature or loaded with ice, as the case may be (see Sub-clause 2.1.3).

2.3 *Insulation*

2.3.1 *Types of insulation*

The insulation of an electric traction overhead line can be provided by means of single insulators or by assemblies consisting of several insulators connected in series.

Insulation is said to be "simple" when the test voltages of single insulators, or assemblies constituting the insulation, correspond to the values chosen in accordance with Sub-clause 2.3.2. If these values are greatly exceeded, the insulation is designated as "reinforced".

Insulation is said to be "double" if it consists of two single insulators or two insulated assemblies in series, each being separated from the other and each having test voltages corresponding to the values chosen in accordance with Sub-clause 2.3.2.

D'ordinaire, l'isolement dans les lignes aériennes de traction électrique est simple sauf pour les ancrages aux bâtiments ou à des poteaux non reliés à la terre, où un isolement double ou renforcé est requis.

Si les deux isolateurs uniques ou les deux ensembles d'isolateurs sont suffisamment espacés, l'isolement double peut réduire les conséquences, sur la continuité du service, des nécessités de l'entretien ou d'une défaillance de l'un des deux isolateurs. L'emploi d'un isolement renforcé au lieu d'un isolement double peut permettre d'élever le degré d'isolement sans augmentation notable des encombrements.

2.3.2 Tension d'essai des isolateurs

Le degré d'isolement à prévoir pour les lignes aériennes de traction électrique ressort de l'exigence d'assurer autant que possible le déroulement régulier du service et dépend non seulement de la tension nominale, mais aussi notablement des caractéristiques locales et spécialement du niveau isokéraunique et du degré de pollution (voir paragraphe 2.1.3). Par conséquent, en ce qui concerne les tensions d'essai recommandées pour l'isolement simple (voir deuxième alinéa du paragraphe 2.3.1), des gammes de valeurs sont indiquées dans le tableau VII. Les valeurs des tensions d'essai doivent être choisies dans ces gammes en tenant compte des susdites conditions locales.

TABLEAU VII

Tension nominale de la ligne V	Tension d'essai des isolateurs	
	Tension de tenue au choc à sec ¹⁾	Tension de tenue à fréquence industrielle ²⁾ une minute sous pluie
	Valeur de crête kV	Valeur efficace kV
600 - 750	10 à 20	5 à 10
1 500	50 à 120	20 à 50
3 000	80 à 150	30 à 60
6 250	80 à 150	30 à 60
15 000	90 à 200	45 à 100
25 000	150 à 250	75 à 125
50 000	250 à 400	120 à 200

¹⁾ Essai de tension au choc selon la Publication 60 de la CEI.
²⁾ Isolateur en position verticale.

2.3.3 Sollicitations mécaniques des isolateurs

Il est recommandé que les isolateurs ou complexes isolants en service, dans l'hypothèse la plus défavorable parmi celles prévues au paragraphe 2.2.3, ne soient pas soumis à des sollicitations mécaniques dépassant 40% de leur charge de rupture mécanique spécifiée (suivant les définitions de la Publication 383 de la CEI).

Normally, the insulation in electric traction overhead lines is simple, except for anchorage points to buildings or masts not connected to earth, where double or reinforced insulation is required.

If the two single insulators or two assemblies of insulators are sufficiently spaced, the double insulation can reduce the effects on the uninterrupted operation depending on maintenance needs or in the event of failure relating to one of the two insulators. The use of reinforced insulation instead of double insulation may allow a higher degree of insulation without notable increase in size.

2.3.2 Test voltage of insulators

The degree of insulation to be provided for electric traction overhead lines stems from the requirement to guarantee regular operation as far as possible, and it is dependent not only on the nominal voltage but also particularly on the local characteristics, and especially on the isokeraunic level and the degree of pollution (see Sub-clause 2.1.3). Consequently, with regard to the test voltages recommended for insulators, the simple insulation ranges of values are indicated in Table VII. The test voltage values given shall be chosen within these ranges taking into account the above local conditions.

TABLE VII

Nominal voltage of the line V	Test voltage of the insulators	
	Dry impulse withstand voltage ¹⁾	One minute power frequency wet ²⁾ withstand voltage
	Peak value kV	R.M.S. value kV
600 - 750	10 to 20	5 to 10
1 500	50 to 120	20 to 50
3 000	80 to 150	30 to 60
6 250	80 to 150	30 to 60
15 000	90 to 200	45 to 100
25 000	150 to 250	75 to 125
50 000	250 to 400	120 to 200

1) Impulse voltage test in accordance with IEC Publication 60.
2) Vertically positioned insulators.

2.3.3 Mechanical stresses in insulators

It is recommended that for insulators or insulation systems in service, assuming the most onerous condition among those referred to in Sub-clause 2.2.3, the mechanical stresses shall not exceed 40% of the specified mechanical ultimate breaking load (in accordance with the definitions in IEC Publication 383).

2.4 Supports

2.4.1 Efforts appliqués aux supports

Les efforts qui doivent être considérés comme étant appliqués aux supports des lignes aériennes de traction électrique comprennent:

- a) le poids du support lui-même, de l'appareillage et des isolateurs montés sur le support, y compris, le cas échéant, les efforts appliqués pendant le montage;
- b) les efforts transmis au support par les fils et les câbles soutenus par le support ou ancrés au support, y compris ceux qui sont dus à la pression du vent sur ces mêmes fils et câbles;
- c) les efforts provoqués par la pression du vent sur le support lui-même, sur l'appareillage et sur les isolateurs montés sur ce support.

2.4.2 Hypothèse de calcul

La compatibilité des sollicitations mécaniques des supports et de la résistance du matériel doit être vérifiée en prenant en compte tous les efforts prévus au paragraphe 2.4.1 dans les hypothèses prévisibles les plus défavorables.

Dans ce calcul, on devra considérer la direction de la poussée du vent qui entraîne les conditions les plus défavorables au point de vue des sollicitations sur le support.

Dans le cas où les conditions météorologiques locales demandent aussi de prévoir la présence de neige et/ou d'un manchon de glace, la vérification devra être complétée en ajoutant leur incidence sur les efforts du paragraphe 2.4.1; pour cette dernière vérification, on pourra prévoir une vitesse de vent inférieure à la vitesse maximale.

Les calculs devront aussi être faits dans l'hypothèse de la rupture d'un ou plusieurs fils et câbles.

2.4.3 Hypothèses simplificatrices

Des hypothèses simplificatrices pour l'exécution des calculs de vérification de la stabilité des supports sont admises, à condition que la simplification aille dans le sens de la stabilité.

2.4.4 Supports soutenant des lignes aériennes différentes

Les supports soutenant en même temps une ligne aérienne de contact (et/ou des câbles d'alimentation) et une ligne d'énergie, doivent respecter les prescriptions relatives aux deux lignes.

2.4.5 Matériaux constituant les supports

Les matériaux constituant les supports des lignes aériennes de traction électrique sont en général le bois, le béton et l'acier.

2.4 Supports

2.4.1 Loads applied to supports

The loads which shall be considered as acting on the supports of electric traction overhead lines shall be derived from the following:

- a) the weight of the support itself, the equipment and insulators fitted to the support, including, if appropriate the loads applied during fitting;
- b) the loads transmitted to the support by the wires and cables connected to it, or supported by it, including those derived from wind pressure acting on these wires and cables;
- c) the loads derived from wind pressure acting on the support itself, and on the equipment and insulators fitted to the support.

2.4.2 Design theory

The compatibility of the mechanical stresses on the supports and the relevant strength of the materials shall be checked taking into account all the loads referred to in Sub-clause 2.4.1, under the most unfavourable loading hypothesis that is to be anticipated.

In these stress calculations, the direction of the wind pressure, giving rise to the most onerous conditions on the support, shall be taken into consideration.

Where the local meteorological conditions make it necessary to evaluate loads created by the presence of snow and/or a coating of ice, the calculations shall be supplemented by adding their effect to the values indicated in Sub-clause 2.4.1. However, for this latter calculation, a wind speed less than the maximum speed can be used.

The calculations shall also be undertaken to establish the loads that will occur if one or more wires or cables break.

2.4.3 Simplified theories

Simplified theories for carrying out the calculations for checking the stability of the supports are permitted, provided the simplification is directed towards stability.

2.4.4 Supports holding the various overhead lines

Supports used at the same time for an overhead contact line (and/or feeders) and a power supply line shall comply with the provisions relating to both lines.

2.4.5 Materials constituting the supporting structures

The materials constituting the supports for electric traction overhead lines are in general: wood, concrete and steel.

Dans les supports en béton, le béton doit être armé (précontraint ou non) et doit être centrifugé ou vibré.

Les supports en acier peuvent avoir une structure en profilé, ou tubulaire ou en treillis.

2.4.6 Sollicitations maximales des matériaux

Les matériaux constituant les supports des lignes aériennes de traction électrique ne doivent pas être soumis à des sollicitations calculées excédant les limites indiquées ci-dessous:

a) Support en bois ^{1), 2)}

bois dur:	20 MPa (200 daN/cm ²) (flexion)
bois de conifère:	16 MPa (160 daN/cm ²) (flexion)

b) Supports en béton armé

béton:	1/3 de la charge de rupture
acier:	65% de la limite d'élasticité

c) Supports en acier

65% de la limite d'élasticité

Pour les barres des supports en treillis travaillant à la compression, il faut, du fait de la fatigue due au flambage, réduire convenablement la sollicitation admissible en fonction de l'élanement de la barre, suivant les procédés de calcul généralement admis.

d) Câble en acier pour supports haubanés

40% de la charge de rupture.

Les supports constitués de matériaux différents de ceux qui sont mentionnés ci-dessus doivent subir les essais prévus au paragraphe 2.4.8.

2.4.7 Déplacements maximaux pour un captage correct du courant

Dans le cas d'emploi de matériaux particulièrement flexibles, le calcul pour la vérification de la stabilité des supports doit être complété par celui des déplacements des supports, afin de vérifier que, sous l'action des charges non permanentes, telles que la poussée du vent, il ne se produit pas de variations de la position de la ligne aérienne de contact incompatibles avec un captage correct du courant.

- 1) Pour les supports en bois montés sans hauban qui sont exposés pendant une grande partie de leur vie à des forces unilatérales de flexion, la contrainte de flexion ne doit pas dépasser, en fonction de la qualité du bois, 50% à 75% de la valeur indiquée.
- 2) Des valeurs plus spécifiques des sollicitations permissibles peuvent être adoptées pour des types particuliers de bois.