

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61472

Première édition
First edition
1998-11

**Travaux sous tension –
Distances minimales d’approche –
Méthode de calcul**

**Live working –
Minimum approach distances –
Method of calculation**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61472:1998

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

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* (IEV).

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 60 000 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**

61472

Première édition
First edition
1998-11

**Travaux sous tension –
Distances minimales d'approche –
Méthode de calcul**

**Live working –
Minimum approach distances –
Method of calculation**

© IEC 1998 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

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives.....	6
3 Définitions.....	8
4 Méthodologie	10
5 Facteurs intervenant dans les calculs	10
6 Evaluation des risques	24
7 Calcul de la distance minimale d'approche	24
Annexes	
A Surtensions.....	28
B Tenue diélectrique de l'air	38
C Facteur d'intervalle k_g	42
D Prise en compte des conditions atmosphériques.....	46
E Travaux sous tension près des isolations polluées, endommagées ou humides.....	56
F Diminution des distances en dessous de la valeur calculée.....	60
G Distance ergonomique.....	64
H Bibliographie.....	68

WITNESS

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Definitions	9
4 Methodology	11
5 Factors influencing calculations	11
6 Evaluation of risks	25
7 Calculation of minimum approach distance	25
Annexes	
A Overvoltages	29
B Dielectric strength of air	39
C Gap factor k_g	43
D Allowing for atmospheric conditions	47
E Live working near contaminated, damaged or moist insulation	57
F Reduction of distances below the calculated value	61
G Ergonomic distance	65
H Bibliography	69

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRAVAUX SOUS TENSION – DISTANCES MINIMALES D'APPROCHE – MÉTHODE DE CALCUL

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61472 a été établie par le comité d'études 78 de la CEI: Travaux sous tension.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
78/252/FDIS	78/258/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.

Les annexes A à H sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LIVE WORKING –
MINIMUM APPROACH DISTANCES –
METHOD OF CALCULATION**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61472 has been prepared by technical committee 78: Live working.

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

FDIS	Report on voting
78/252/FDIS	78/258/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.

Annexes A to H are for information only.

TRAVAUX SOUS TENSION – DISTANCES MINIMALES D'APPROCHE – MÉTHODE DE CALCUL

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de calcul de la distance minimale d'approche, en travaux sous tension entre 1 kV et 800 kV, requise pour protéger les opérateurs des surtensions du réseau. Cette norme traite des surtensions de réseau et des distances dans l'air pour le travail entre les parties et/ou les opérateurs à potentiels différents.

Le calcul des distances pour les tensions continues est actuellement à l'étude.

Il est recommandé d'utiliser les valeurs de la tension de tenue requise et de la distance minimale d'approche calculées suivant la méthode décrite dans cette norme seulement si les conditions de travail suivantes sont présentes:

- les opérateurs sont formés et qualifiés pour travailler sous tension ou près des conducteurs sous tension;
- les conditions d'exploitation sont adaptées de manière que la surtension statistique ne dépasse pas la valeur choisie pour la détermination de la tension de tenue requise;
- les surtensions transitoires sont les surtensions déterminantes;
- l'isolation des outils ne présente pas sur la surface un film continu d'humidité;
- aucun éclair n'est observé à moins de 10 km du lieu de travail;
- l'influence des parties conductrices des outils est prise en compte;
- l'effet de l'altitude sur la tenue électrique est pris en compte.

NOTE – Dans certains pays, des procédures spéciales ont été développées pour permettre les travaux sous tension sur les réseaux de distribution (au-dessous de 50 kV) avec une présence d'humidité sur la surface des outils isolants.

2 Références normatives

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

CEI 60050(601):1985, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

CEI 60050(604):1987, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

LIVE WORKING – MINIMUM APPROACH DISTANCES – METHOD OF CALCULATION

1 Scope

This International Standard specifies a method for calculating the minimum approach distance for live working, at voltages between 1 kV and 800 kV, required to protect workers from system overvoltages. This standard addresses system overvoltages, and the working air distances between parts and/or workers at different potentials.

The calculation of distances for d.c. voltages is presently under consideration.

The required withstand voltage and minimum approach distances calculated by the method described in this standard are recommended for use only if the following working conditions prevail:

- workers are trained for, and skilled in, working live lines or close to live conductors;
- the operating conditions are adjusted so that the statistical overvoltage does not exceed the value selected for the determination of the required withstand voltage;
- transient overvoltages are the determining overvoltages;
- tool insulation has no continuous film of moisture present on the surface;
- no lightning is observed within 10 km of the work site;
- allowance is made for the effect of conducting components of tools;
- the effect of altitude on the electrical strength is taken into consideration.

NOTE – In some countries, special procedures have been developed to permit live working with surface moisture on tools at distribution voltages (below 50 kV).

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, though referenced in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(601):1985, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050(604):1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1

tension la plus élevée d'un réseau (U_s)

valeur la plus élevée de la tension qui se présente à un instant et en un point quelconque du réseau dans des conditions d'exploitation normale (tension entre phases)

NOTE – Ces valeurs ne tiennent pas compte des variations transitoires par exemple dues aux manoeuvres dans le réseau, ni des variations temporaires accidentelles de la tension. [VEI 601-01-23 modifiée]

3.2

surtension transitoire

surtension de courte durée ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie. [VEI 604-03-13]

3.3

tension de cinquante pour cent de décharge disruptive (U_{50})

valeur de crête d'une tension de choc qui a une probabilité de 50 % de provoquer une décharge disruptive à chaque fois qu'elle est appliquée lors d'essais diélectriques. [VEI 604-03-43]

3.4

tension de tenue statistique (U_{90})

surtension pour laquelle l'isolation présente une probabilité de tenue de 90 %

3.5

surtension statistique (U_2)

surtension ayant une probabilité de 2 % d'être dépassée

3.6

Valeur par unité (u)

expression de la valeur par unité de l'amplitude d'une surtension (ou d'une tension) rapportée à $U_s \sqrt{2} / \sqrt{3}$

NOTE – Cela s'applique à U_{e2} , U_{p2} , U_{e1} , U_{pt} définies ci-après.

3.7

distance minimale d'approche (D_A)

distance minimale dans l'air qui doit être maintenue entre n'importe quelle partie corps du monteur, ou tout outil conducteur qu'il manipule, et les parties portées à des potentiels différents. Cette distance de travail minimale varie en fonction des composantes électriques et ergonomiques choisies.

3.8

distance électrique (D_U)

distance dans l'air qui protège d'un claquage pendant le travail sous tension. En termes génériques, la composante électrique de la distance minimale de travail entre deux électrodes qui représentent les parties actives et/ou à la terre, est celle requise pour empêcher un amorçage sous la contrainte électrique la plus sévère qui puisse survenir dans des conditions choisies.

3.9

distance ergonomique (D_E)

distance qui prend en compte les mouvements involontaires et les erreurs de jugement des distances pendant l'exécution du travail. Cette distance prend en compte aussi bien les actions de personnes que les outils utilisés et manipulés.

3 Definitions

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply.

3.1

highest voltage of a system (U_s)

the highest value of operating voltage which occurs under normal operating conditions at any time and any point in the system (phase-to-phase voltage)

NOTE – Transient overvoltages due for example to switching operations and abnormal operation and abnormal temporary variations of voltage, are not taken into account. [IEV 601-01-23 modified]

3.2

transient overvoltage

a short duration overvoltage of a few milliseconds or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped. [IEV 604-03-13]

3.3

fifty per cent disruptive discharge voltage (U_{50})

the peak value of an impulse test voltage having a 50 % probability of initiating a disruptive discharge each time the dielectric testing is performed. [IEV 604-03-43]

3.4

statistical withstand voltage (U_{90})

the overvoltage at which the insulation exhibits a 90 % probability of withstand

3.5

statistical overvoltage (U_2)

the overvoltage that has a 2 % probability of being exceeded

3.6

per unit value (u)

the expression of the per unit value of the amplitude of an overvoltage (or of a voltage) referred to $U_s \sqrt{2} / \sqrt{3}$

NOTE – This applies to u_{e2} , u_{p2} , u_{et} and u_{pt} defined below.

3.7

minimum approach distance (D_A)

the minimum distance in air to be maintained between any part of the body of a worker, or any conductive tool being directly handled, and any part at different potentials. This minimum working distance will vary depending upon the chosen electrical and ergonomic components.

3.8

electrical distance (D_U)

the distance in air which protects against electrical breakdown during live working. In generic terms, the electrical component of the minimum working distance between two electrodes which represent live and/or earthed parts, required to prevent sparkover under the most severe electrical stress that will arise under the chosen conditions.

3.9

ergonomic distance (D_E)

the distance which allows for inadvertent movement or errors in appraising distances while performing work. This distance takes into consideration the actions of the persons as well as the tools that are to be used and manipulated.

4 Méthodologie

La méthodologie du calcul de la distance minimale d'approche repose sur trois considérations:

- déterminer la surtension statistique attendue dans la zone de travail (U_2) et à partir de celle-ci déterminer la tension de tenue statistique requise de l'isolation dans la zone de travail (U_{90});
- calculer la distance électrique minimale D_U correspondant à U_{90} ;
- ajouter une distance additionnelle pour prendre en compte les facteurs ergonomiques associés au travail sous tension tels que les mouvements involontaires.

La distance minimale d'approche D_A est déterminée par:

$$D_A = D_U + D_E \quad (1)$$

où

D_U est la distance électrique minimale nécessaire pour obtenir U_{90} ;

D_E est la distance ergonomique qui tient compte de la maîtrise de la distance minimale d'approche mise en oeuvre au cours des procédures de travail, du niveau de formation, de la qualification des opérateurs, du type de construction, et des éléments fortuits tels que des gestes involontaires et des erreurs d'appréciation des distances. La valeur choisie pour la distance ergonomique D_E diffère suivant les utilisateurs. Trois variations de D_E avec la tension du réseau ont été utilisées: augmentation, diminution et maintien constant. La valeur de D_E sera propre à chaque utilisateur mais en général elle se trouve comprise entre 0,2 m et 1 m (voir l'annexe G pour plus de précisions).

La représentation des composantes de la distance minimale d'approche D_A est donnée à la figure 1.

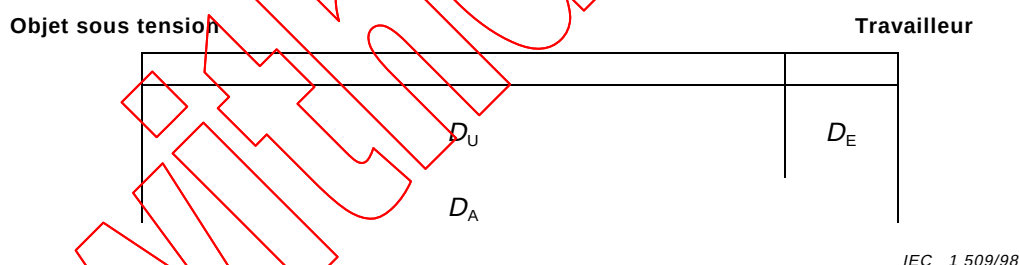


Figure 1 – Représentation des composantes de D_A

5 Facteurs intervenant dans les calculs

5.1 Actions sur les surtensions du réseau

L'amplitude maximale des surtensions arrivant dans la zone de travail peut être réduite par la pratique courante de neutralisation des ré-enclencheurs ou par l'usage d'éclateurs ou de parafoudres. Les éclateurs sont utilisés sur les réseaux de transport aux tensions supérieures à 69 kV. Ils sont installés de préférence près de la zone de travail ou aux extrémités des équipements.

4 Methodology

The methodology of the calculation of the minimum approach distances is based on three considerations:

- to establish the statistical overvoltage expected in the work area (U_2) and from this determine the required statistical withstand voltage of the insulation in the work area (U_{90});
- to calculate the minimum electrical distance D_U related to U_{90} ;
- to add an additional distance to allow for ergonomic factors associated with live working, such as inadvertent movement.

The minimum approach distance D_A is thus determined by:

$$D_A = D_U + D_E \quad (1)$$

where

D_U is the minimum electrical distance necessary to obtain U_{90} ;

D_E is the ergonomic distance which allows for the control of the minimum approach distance developed through work procedures, level of training, skill of the workers, type of construction, and such contingencies as inadvertent movement, and errors in appraising distances. The value chosen for the ergonomic distance D_E differs between users. Three variations of D_E with system voltage have been used: increasing, decreasing and constant. The value of D_E will be specific to each user but it generally falls within the range of 0,2 m to 1 m (see annex G for details).

The illustration of the components of the minimum approach distance D_A is shown in figure 1.

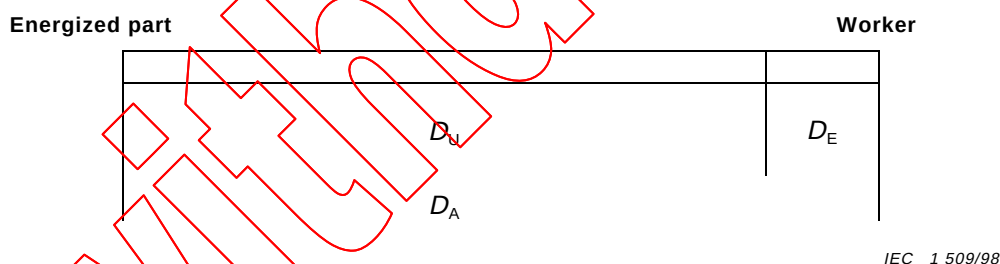


Figure 1 – Illustration of components of D_A

5 Factors influencing calculations

5.1 Control of system overvoltages

The maximum amplitude of overvoltages arriving in the work area can be reduced by the usual practice of making the circuit-breaker reclosing devices inoperative, or by using protective gaps or surge arresters. Protective gaps are used on transmission systems at voltages above 69 kV. They are preferably installed close to the work area, or at equipment terminations.

5.2 Surtension statistique

La contrainte électrique dans la zone de travail doit être connue. La contrainte électrique est caractérisée par la surtension statistique qui peut exister dans la zone de travail. Dans un réseau alternatif triphasé, la surtension statistique U_{e2} entre phase et terre est:

$$U_{e2} = \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{e2} \quad (2)$$

où

U_s est la tension la plus élevée du réseau;

u_{e2} est la surtension statistique phase-terre exprimée par unité.

De la même manière:

$$U_{p2} = \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{p2} \quad (3)$$

où

u_{p2} est la surtension statistique phase-phase exprimée par unité.

Si la valeur par unité de la surtension phase-phase n'est pas disponible, une valeur approchée peut être trouvée à partir de u_{e2} par la formule suivante:

$$u_{p2} = 1,33 u_{e2} \pm 0,4 \quad (4)$$

Les surtensions transitoires à prendre en compte sont celles causées par des défauts dans le réseau ou par des manoeuvres, qu'elles se produisent sur les lignes sur lesquelles on travaille, sur les lignes voisines ou sur le matériel associé.

Les valeurs des surtensions statistiques doivent être celles mesurées ou déterminées à l'aide d'études sur un analyseur de transitoire de réseau (TNA) ou sur ordinateur. Si de telles études ne fournissent pas les surtensions statistiques (valeur à 2 %) mais seulement les valeurs tronquées sans connaissance de la distribution statistique, le passage des valeurs tronquées aux valeurs à 2 % peut être réalisé (voir annexe A). Des valeurs typiques de surtension statistiques sont données à l'annexe A pour être utilisées quand aucune autre valeur n'est disponible.

5.3 Tenue de l'intervalle

Pour la détermination de la distance minimale d'approche, la tension de tenue requise pour le travail sous tension est prise égale à la tension U_{90} déterminée à partir de l'expression générale

$$U_{90} = K_s U_2 \quad (5)$$

En considérant séparément les tensions phase-terre et phase-phase et en combinant l'équation (5) avec les équations (2) et (3) on obtient:

$$U_{e90} = K_s \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{e2} \quad (6)$$

$$U_{p90} = K_s \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{p2} \quad (7)$$

5.2 Statistical overvoltage

The electrical stress at the work area shall be known. The electrical stress is described as the statistical overvoltage that may be present at the work area. In a 3-phase a.c. power system the statistical overvoltage U_{e2} between phase and earth is:

$$U_{e2} = \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{e2} \quad (2)$$

where

U_s is the highest voltage of the system;

u_{e2} is the statistical overvoltage phase-to-earth expressed in per unit.

Similarly:

$$U_{p2} = \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{p2} \quad (3)$$

where

u_{p2} is the statistical overvoltage phase-to-phase expressed in per unit.

If the per unit phase-phase data are not available, an approximate value can be derived from u_{e2} by the following formula:

$$u_{p2} = 1,33 u_{e2} + 0,4 \quad (4)$$

The transient overvoltages to be considered are those caused by system faults and switching operations, whether they occur on the lines being worked, or on adjacent lines or associated equipment.

The values of statistical overvoltages shall be those measured or determined by transient network analyzer (TNA) or digital computer studies. If such studies do not provide the statistical overvoltages (2 % values) but only the "truncated values", without the statistical distribution, the transformation of the truncated values into 2 % values can be made (see annex A). Typical values of statistical overvoltages are shown in annex A, for use when no other values are available.

5.3 Gap strength

For the determination of the minimum approach distance, the required withstand voltage for live working is taken to be equal to the voltage U_{90} , determined from the general expression

$$U_{90} = K_s U_2 \quad (5)$$

Considering the phase-to-earth and phase-to-phase voltages separately and combining equation (5) with equations (2) and (3) gives:

$$U_{e90} = K_s \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{e2} \quad (6)$$

$$U_{p90} = K_s \sqrt{2} / \sqrt{3} U_s u_{p2} \quad (7)$$

où

U_{90} est une tension de tenue statistique (la surtension pour laquelle l'isolation a une probabilité de tenue de 90 %);

U_2 est la surtension statistique à 2 %;

K_S est un facteur statistique;

U_{e90} et U_{p90} sont respectivement les tensions de tenue statistique phase-terre et phase-phase;

u_{e2} et u_{p2} sont les surtensions statistiques correspondantes exprimées par unité.

5.4 Calcul des distances électriques

La tenue de l'intervalle est influencée par une série de facteurs qui peuvent être exprimés par un facteur K_t utilisé dans la formule suivante pour calculer D_U :

$$D_U = 2,17 (e^{U_{90}/(1080K_t)} - 1) + F \quad (8)$$

où F est la distance pour les objets flottants (voir 5.4.4).

K_t est donné par:

$$K_t = k_s k_g k_a k_r k_i \quad (9)$$

5.4.1 Facteur de dispersion conventionnelle k_s

Le facteur d'intervalle k_s prend en compte la nature statistique de la tension de claquage. À moins que la valeur de la dispersion conventionnelle normalisée, s_e , ne soit connue à partir d'essais représentant la configuration de l'intervalle et de la distance utilisée, une valeur de 0,936 pourra être utilisée. Cette valeur est basée sur une dispersion conventionnelle normalisée de 5 % pour une onde de choc positive (voir annexe B).

5.4.2 Facteur d'intervalle k_g

Le facteur d'intervalle k_g tient compte des effets de la configuration de l'intervalle sur la tenue diélectrique de l'air (voir annexe C).

NOTE 1 – À moins qu'un facteur d'intervalle ne puisse être obtenu à partir de configurations de réseaux existants pour un niveau de tension donné, une valeur conservatrice de $k_g = 1,2$ est recommandée pour tenir compte des diverses configurations.

NOTE 2 – La brochure 72 de la CIGRÉ [1]* et la CEI 60071-2 [2] fournissent plus d'informations concernant la détermination de k_g pour différentes configurations d'intervalle.

5.4.3 Facteur atmosphérique k_a

La contrainte électrique dans l'air dans la zone de travail est affectée par l'altitude au-dessus du niveau de la mer. Cet effet, qui varie dans une certaine mesure avec la longueur de l'intervalle et réciproquement avec la tension de tenue, est traduit par le facteur atmosphérique k_a . La valeur appropriée de k_a peut être tirée du tableau D.1 ou calculée avec la méthode donnée à l'annexe D pour une altitude spécifique et un U_{90} donné, comme étant une altitude de référence en-dessous de laquelle les travaux sous tension seront exécutés.

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée dans l'annexe H.

where

U_{90} is a statistical withstand voltage (the overvoltage at which the insulation exhibits a 90 % probability of withstand);

U_2 is the 2 % statistical overvoltage;

K_s is the statistical factor;

U_{e90} and U_{p90} are the statistical withstand voltages phase-to-earth and phase-to-phase, respectively,

u_{e2} and u_{p2} are the corresponding statistical overvoltages, expressed in per unit.

5.4 Calculation of electrical distances

The strength of the gap is influenced by a series of considerations which can be combined in a factor K_t used in the following formula for calculating D_U :

$$D_U = 2,17 (e^{U_{90}/(1080K_t)} - 1) + F \quad (8)$$

where F is the floating object distance (see subclause 5.4.4)

K_t is given by:

$$K_t = k_s k_g k_a k_f k_j \quad (9)$$

5.4.1 Conventional deviation factor k_s

Factor k_s accounts for the statistical nature of the breakdown voltage. Unless the value of the normalized conventional deviation, s_e , is known from tests representing the gap configuration and distance used, a value of 0,936, based on a normalized conventional deviation of 5 %, for positive impulses, can be used (see annex B).

5.4.2 Gap factor k_g

The gap factor k_g takes into account the effect of the gap configuration on the dielectric strength of air (see annex C).

NOTE 1 – Unless an appropriate gap factor can be selected for the structure configurations that exist at the system voltage being considered, a generally conservative value of $k_g = 1,2$ is recommended, to allow for a variety of configurations.

NOTE 2 – CIGRE Brochure 72 [1]* and IEC 60071-2 [2] provide more information concerning the determination of k_g for various gap configurations.

5.4.3 Atmospheric factor k_a

The electric strength of the air insulation in the work area is affected by the altitude above sea level. This effect, which varies to some extent with the gap length, or conversely with the withstand voltage, is accounted for by the atmospheric factor k_a . The appropriate value of k_a can be selected from table D.1 or calculated for a specific altitude and U_{90} by the method given in annex D, for a reference altitude below which most live work is done.

* Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex H.

Il est recommandé que la distance électrique D_U soit augmentée quand le travail sous tension est réalisé dans des endroits plus élevés que l'altitude de référence, pour tenir compte de la pression atmosphérique moyenne plus basse. Cela peut être réalisé en multipliant D_U par un facteur de correction d'altitude qui peut être calculé en utilisant les équations données à l'annexe D. Si l'altitude de référence choisie est de 1 000 m, les valeurs applicables du facteur de correction d'altitude peuvent être prises dans le tableau D.2.

5.4.4 Facteur d'objet à potentiel flottant k_f

Les objets à potentiel flottants peuvent décroître ou accroître la tenue électrique de l'intervalle à cause de la déformation du champ.

Un objet conducteur placé entre deux électrodes à potentiel différent, et non connecté à aucune d'elles, est électriquement flottant et prend un potentiel intermédiaire. L'importance de l'influence de ces objets conducteurs flottants sur la tenue électrique de l'intervalle varie en fonction du nombre des objets flottants, de leurs dimensions, de leur forme et de leur position géométrique dans l'intervalle. Toutefois, la présence d'un ou de plusieurs objets flottants réduit la longueur électrique nette de l'intervalle d'air.

Pour calculer les effets des objets flottants, il est recommandé que tous les chemins possibles d'une décharge disruptive soient pris en compte pour déterminer k_f et F .

Les effets des objets flottants sur la tenue de l'intervalle sont pris en compte par un facteur d'objet flottant k_f , et une longueur d'objet flottant, F (somme de toutes les dimensions, dans la direction de l'axe de l'intervalle, des objets flottants dans cet intervalle d'air), comme suit:

- a) quand aucun objet flottant n'est présent, $k_f = 1$ et $F = 0$;
- b) le facteur d'objet flottant $k_f = 0,85$ doit être utilisé dans les trois cas suivants:
 - $U_s < 72,5$ kV, $L > 150$ mm, objet flottant fixe;
 - $U_s < 72,5$ kV, $L > 300$ mm, objet flottant mobile;
 - $U_s > 72,5$ kV, $L > 300$ mm, objet flottant fixe ou mobile.

où L est la plus grande dimension de l'un quelconque des objets flottants mesurée suivant l'axe de l'intervalle.

- c) dans tous les autres cas le facteur $k_f = 1$ doit être utilisé.

L'influence des capots et des tiges des isolateurs de suspension est négligeable et doit être ignorée.

Pour plus de précisions, voir l'annexe F.

5.4.5 Isolateurs

Quand il n'y a pas d'isolateurs détériorés, $k_i = 1,0$. A tout moment, des précautions doivent être prises pour que la tenue électrique de l'ensemble d'isolateurs ne soit pas diminuée par la présence d'outils en parallèle, d'humidité ou de pollution à la surface et d'isolateurs détériorés (voir annexe E).

The electrical distance D_U should be increased when live work is carried out in locations higher than the reference altitude in order to account for the lower mean atmospheric pressure. This can be done by multiplying D_U by an altitude correction factor, which can be calculated using the equations given in annex D. If a reference altitude of 1 000 m is chosen, the applicable values of the altitude correction factor can be taken from table D.2.

5.4.4 Floating object factor k_f

Floating objects can decrease, or increase, the electric strength of a gap by field distortion.

A conductive object placed between two electrodes at different potentials, and not connected to either one, is electrically floating, and acquires an intermediate potential. The extent of the influence these conductive floating objects have on the electric strength of the gap varies depending on the number of floating objects, their dimensions, shapes and geometrical positions in the gap. Nevertheless, the presence of the floating object(s) reduces the net electrical length of the air gap.

When calculating the effects of floating objects, all possible disruptive discharge paths should be considered in determining the factors k_f and F .

The effects of floating objects on the strength of a gap are accounted for by the floating object factor k_f and a floating object distance F (sum of all dimensions, in the direction of the gap axis, of the floating objects in the air gap), based on the following configuration:

- a) when no floating object is present, $k_f = 1$ and $F = 0$;
- b) the floating object factor $k_f = 0,85$ shall be applied in the following three cases:
 - $U_s < 72,5$ kV, $L > 150$ mm, floating object stationary;
 - $U_s < 72,5$ kV, $L > 300$ mm, floating object moving;
 - $U_s > 72,5$ kV, $L > 300$ mm, floating object moving or stationary;

where L is the greatest value of any floating object length, taken in the direction along the gap axis;

- c) in all other cases the factor, $k_f = 1$ shall be applied.

The influence of metallic caps and pins of suspension insulators is negligible and shall be ignored.

See annex F for more details.

5.4.5 Insulators

When there is no damaged insulator present, $k_i = 1,0$. At all times, care shall be taken that the electrical integrity of the insulator assembly is not impaired by tools in parallel, moisture or contamination on the surface and damaged insulators (see annex E).

Les effets de la détérioration de l'isolation sur la tension de tenue dans la zone de travail doivent être pris en compte en s'assurant qu'une quantité minimale d'éléments d'isolation en bon état existe toujours pendant le travail près de l'isolation. La longueur minimale d'isolement du réseau doit être déterminée à partir de l'équation (8) en utilisant une valeur de k_i donnée dans la formule empirique et conservatrice (10), à moins que les spécifications minimales d'isolement du réseau ne soient connues par des essais ou d'autres moyens. La valeur calculée de D_U est la longueur minimale d'isolation mesurée entre les électrodes sous tension et à la terre. Dans ce cas, cette valeur n'est pas la distance minimale d'approche.

$$k_i = 1 - 0,8 k_d n_d / n_o \quad (10)$$

où

n_d est le nombre d'éléments détériorés dans une chaîne de n_o éléments;

k_d est un coefficient caractérisant l'état moyen des éléments détériorés;

$k_d = 1$ pour des isolateurs en verre trempé;

k_d est compris entre 0 et 1 pour les isolateurs en porcelaine, avec $k_d = 0,75$ comme valeur moyenne.

Il faut tenir compte de l'espacement des cornes d'amorçage et des anneaux de répartition (voir annexe E).

L'effet des cornes d'amorçage et des anneaux de répartition est de masquer, dans une certaine mesure, les éléments d'isolation à l'intérieur de ceux-ci. Il convient d'en tenir compte pour déterminer k_i . Cela peut être réalisé en utilisant l'équation (10), avec n_o le nombre d'éléments d'une chaîne d'isolateurs qui ne sont pas shuntés par les cornes d'amorçage ou les anneaux de répartition et n_d le nombre d'éléments détériorés inclus dans n_o .

NOTE 1 – Les éléments masqués par les cornes ou les anneaux ne contribuent pas significativement à la tenue diélectrique de la chaîne; en conséquence, les détériorations dans cette zone sont moins importantes et ces éléments peuvent être court-circuités pendant le travail.

Le cas de chaînes multiples ou de chaînes en V est plus complexe que celui des chaînes simples.

NOTE 2 – Il apparaît, au moins pour les chaînes doubles, que la diminution la plus importante de la tenue diélectrique se produit quand les isolateurs détériorés sont en partie sur une chaîne, en partie sur une autre et ne sont pas en vis-à-vis.

Pour les isolateurs composites, il n'y a pas de méthode établie pour déterminer leur tenue électrique en service. Le risque d'amorçage pendant le travail sous tension ne peut donc pas être déterminé.

5.4.6 Exemple de configurations de travail relatives aux valeurs de k_f et k_g

Quand l'isolation d'un réseau comprend un ensemble d'isolateurs simples qui peuvent être jugés comme étant défectueux, il devient évident qu'ils peuvent tenir la tension du réseau, mais il n'est pas possible de les vérifier pour savoir s'ils peuvent résister à une surtension sans contournement. La décision d'établir s'il est sûr de travailler sur ces isolateurs doit être laissée à l'expérience de l'entreprise qui doit réaliser les travaux.

La figure 2 illustre plusieurs opérations différentes de travail sous tension et les configurations dans lesquelles elles sont réalisées.

Le tableau 1 fournit la plage des valeurs de k_f et k_g pour les configurations représentées à la figure 2.

The effect of damaged insulation on the withstand voltage in the work area shall be allowed for by ensuring that a minimum amount of undamaged system insulation is always present while working live near the insulation. The minimum system insulation length shall be determined from equation (8) using a value of k_i given in the empirically-derived and conservative formula (10), unless the minimum system insulation requirement is known from test data or by other means. The calculated value of D_U is the minimum insulation length measured between live and earth electrodes. In this case it is not the minimum approach distance.

$$k_i = 1 - 0,8 k_d n_d / n_o \quad (10)$$

where

n_d is the number of damaged units in a string of n_o units;

k_d is a coefficient characterizing the average state of the damaged units;

$k_d = 1$ for toughened glass insulators;

$k_d = 0$ to 1 for porcelain insulators, with $k_d = 0,75$ as an average value.

Consideration of arcing horn or grading ring spacing shall also be taken into account (see annex E).

The effect of arcing horns or grading rings is to shield to some extent the insulator units between them. Consideration should be given to this when determining k_i . This can be done by using equation (10), with n_o the number of units in an insulator string that are not shunted by arcing horns or grading rings, and n_d the number of damaged units included in n_o .

NOTE 1 – Units shielded by horns or rings do not significantly contribute to the dielectric strength of the string, hence damage in this area is less important and the units can be shorted during work.

The situation with multiple string assemblies and vee-strings is more complex than for a single string.

NOTE 2 – It appears that, at least for duplex strings, the most severe reduction of the dielectric strength occurs when damaged insulators are partly in one string, partly in the other, and not in adjacent positions in each string.

For non-ceramic insulators, there is no established method for determining their electrical strength while in service. The risk of flashover during live work can therefore not be determined.

5.4.6 Examples of work configuration relative to values of k_f and k_g

When the system insulation comprises only single insulators which are suspected to be damaged, it is clear that they will sustain the power frequency voltage, but it is not possible to determine whether or not they will sustain overvoltages without a flashover. The decision as to whether it is safe to work on these insulators has to be left to the experience of the companies undertaking the work.

Figure 2 illustrates various distinct live working tasks and the configurations in which they can occur.

Table 1 provides ranges of values of k_f and k_g for the configurations illustrated in figure 2.

Tableau 1 – Distance pour les opérations de la figure 2 (phase-terre)

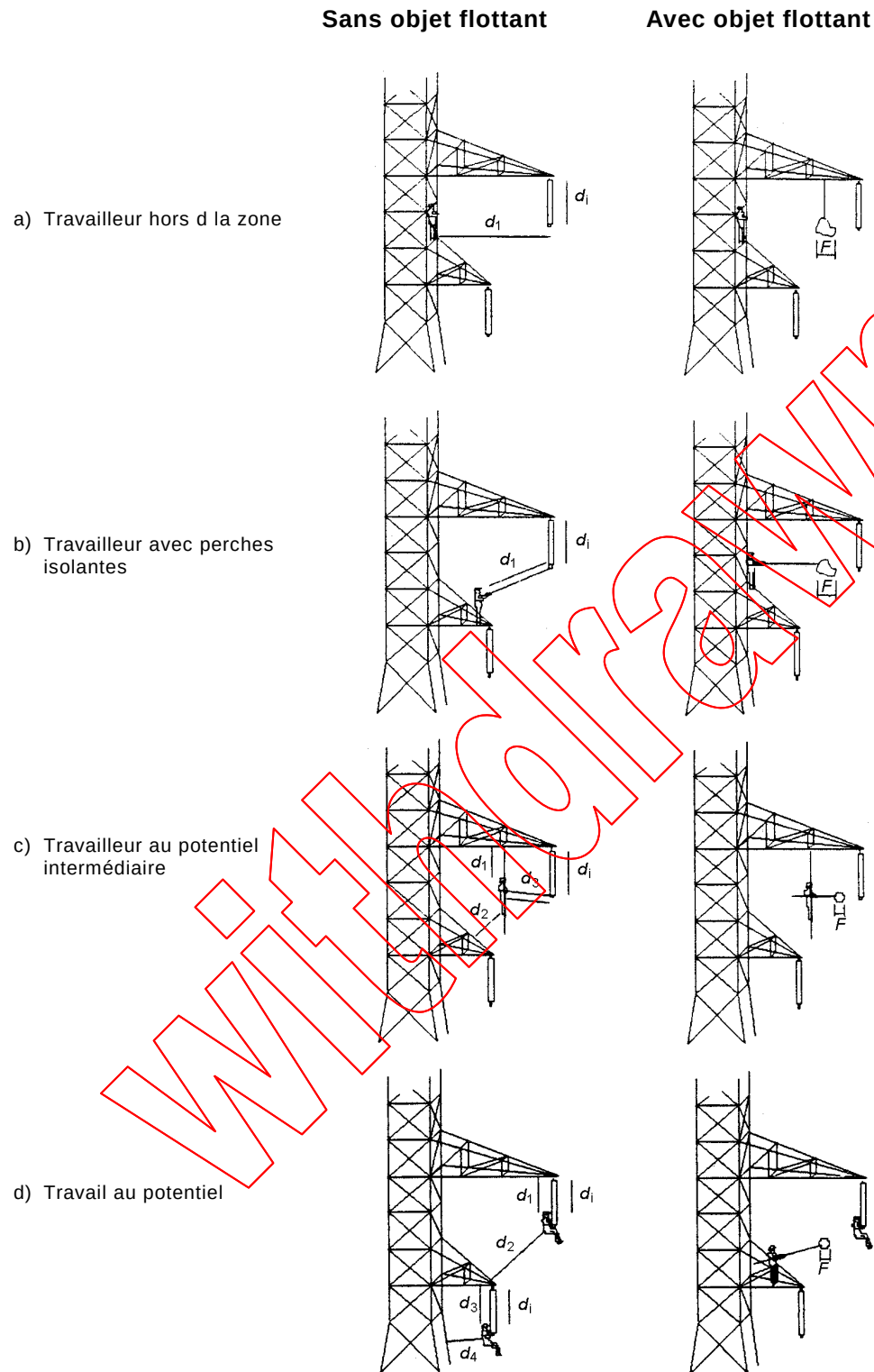
Figure 2	Cas de base $k_f^{(1)}$	Objet flottant $k_f^{(2)}$	$k_g^{(3)}$	Distance minimale
a)	1,0	0,85	1,1 à 1,6	$d_1 > D_A$
b)	1,0	0,85	1,1 à 1,6	$d_1 > D_A$
c)	0,85	0,85	1,1 à 1,45	$D_A < \text{à la plus petite distance entre } d_1 + d_3 \text{ ou } d_2 + d_3$
d)	1,0	0,85	1,0 à 1,45	$D_A < \text{à la plus petite distance entre } d_1 \text{ ou } d_2, \text{ et } d_3 \text{ ou } d_4$
NOTE 1 – Dans tous les cas, il est recommandé que tous les isolateurs détériorés soient pris en compte par k_i .				
NOTE 2 – Avec un objet flottant dans l'intervalle d'air, additionner la dimension maximale F de l'objet pour obtenir D_U .				
1) Se réfère à la colonne de gauche des croquis de la figure 2.				
2) Se réfère à la colonne de droite des croquis de la figure 2.				
3) Plage des valeurs; voir annexe C pour calculer k_g .				

Withdrawing

Table 1 – Distances for tasks of figure 2 (phase-to-earth)

Figure 2	Base case $k_f^{(1)}$	Floating object $k_f^{(2)}$	$k_g^{(3)}$	Minimum distance
a)	1,0	0,85	1,1 to 1,6	$d_1 > D_A$
b)	1,0	0,85	1,1 to 1,6	$d_1 > D_A$
c)	0,85	0,85	1,1 to 1,45	$D_A < \text{the smallest distance between } d_1 + d_3 \text{ or } d_2 + d_3$
d)	1,0	0,85	1,0 to 1,45	$D_A < \text{the smallest distance between } d_1 \text{ or } d_2, \text{ and } d_3 \text{ or } d_4$
NOTE 1 – In each case, any damaged insulators should be taken into account by k_f				
NOTE 2 – With floating objects in the air gap, add the maximum dimension F of the object to obtain D_U				
1) Refers to the left column of sketches in figure 2.				
2) Refers to the right column of sketches in figure 2.				
3) Overall range of values; see annex C to calculate k_g .				

Withdrawal



IEC 1 510/98

Figure 2 – Tâches types de travail sous tension