

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
61774**

Première édition
First edition
1997-08

**Lignes aériennes –
Données météorologiques pour calculer
les charges climatiques**

**Overhead lines –
Meteorological data for assessing
climatic loads**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61774: 1997

Numéros des publications

Les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000 dès le 1er janvier 1997.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant 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 ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

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*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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

Numbering

As from the 1st 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 revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

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*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

RAPPORT TECHNIQUE – TYPE 2

**CEI
IEC**

TECHNICAL REPORT – TYPE 2

61774

Première édition
First edition
1997-08

**Lignes aériennes –
Données météorologiques pour calculer
les charges climatiques**

**Overhead lines –
Meteorological data for assessing
climatic loads**

© IEC 1997 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 Varembe 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

X

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Référence normative	10
3 Généralités	10
3.1 Données météorologiques.....	10
3.2 Charges de givre.....	10
3.2.1 Processus de givrage.....	10
3.2.2 Mesures du givrage.....	14
3.2.3 Modèles de givrage	16
3.3 Galop (informatif).....	16
3.4 Stratégie d'utilisation des données et des modèles.....	16
4 Données météorologiques générales.....	22
4.1 Introduction.....	22
4.2 Paramètres météorologiques exigés par la CEI 60826.....	22
4.2.1 Généralités	22
4.2.2 Charges éoliennes et thermiques	22
4.2.3 Eléments météorologiques nécessaires pour les modèles de givrage....	22
4.3 Disponibilité des données météorologiques pour la conception des lignes aériennes..	24
4.4 Procédures recommandées.....	24
5 Mesures de la charge de givre.....	26
5.1 Introduction.....	26
5.2 Méthodes standard et options recommandées pour les mesures de charge de givre associées aux conducteurs de lignes aériennes	28
5.2.1 Généralités	28
5.2.2 Considérations relatives aux mesures de charge de givre	28
5.2.3 Recommandations minimales	30
5.2.4 Tiges pour recherches supplémentaires	32
5.2.5 Caractéristiques des sites	34
5.2.6 Procédures standard pour la mesure de la charge de givre sur des tiges simples.....	34
5.2.7 Formation des observateurs	36
5.3 Portées d'essai	36
5.4 Procédures recommandées.....	38
6 Modèles de givrage	38
6.1 Introduction.....	38
6.2 Types de modèles de givrage.....	38
6.2.1 Modèles de givrage empiriques et déterministes.....	38
6.2.2 Données climatologiques utilisées dans les modèles de givrage	40
6.2.3 Application des modèles de givrage.....	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope.....	11
2 Normative reference	11
3 General	11
3.1 Meteorological data.....	11
3.2 Ice loads.....	11
3.2.1 Icing processes.....	11
3.2.2 Icing measurements.....	15
3.2.3 Icing models	17
3.3 Galloping (informative).....	17
3.4 Strategy for employing data and models	17
4 General meteorological data	23
4.1 Introduction.....	23
4.2 Weather parameters as required by IEC 60826	23
4.2.1 General.....	23
4.2.2 Wind and thermal loads.....	23
4.2.3 Weather elements required by icing models.....	23
4.3 Availability of meteorological data for overhead line design.....	25
4.4 Recommended procedures	25
5 Ice load measurements.....	27
5.1 Introduction.....	27
5.2 Standard methods and recommended options for ice load measurements associated with overhead line conductors.....	29
5.2.1 General.....	29
5.2.2 Consideration for ice load measurements	29
5.2.3 Minimum recommendations.....	31
5.2.4 Rods for additional investigations	33
5.2.5 Characteristics of sites.....	35
5.2.6 Standard procedures for measuring ice load on simple rods	35
5.2.7 Training of observers	37
5.3 Test spans.....	37
5.4 Recommended procedures	39
6 Icing models.....	39
6.1 Introduction.....	39
6.2 Types of icing models	39
6.2.1 Empirical and deterministic icing models	39
6.2.2 Climatological data used in icing models	41
6.2.3 Application of icing models.....	41

	Pages
Figure 1 – Synoptique de la stratégie	20
Tableau 1 – Paramètres de mesures de givre	28
Annexes (informatives)	
A Vue d'ensemble des paramètres météorologiques prescrits par la CEI 60826	44
B Présentation générale des termes météorologiques, des programmes de traitement des données et des modèles de prévision.....	48
B.1 Eléments météorologiques et paramètres météorologiques.....	48
B.2 Procédures générales d'observation.....	52
B.3 Modèles de prévision météorologique	56
C Exemples de construction de tiges de mesure de la charge de givre et possibilités d'utilisation pour divers types de givrage.....	58
C.1 Verglas causé par la pluie verglaçante	58
C.2 Brouillard givrant y compris givre compact et givre léger.....	58
C.3 Accumulation de neige collante	58
C.4 Accumulation de neige sèche.....	58
D Exemples de portées d'essai	66
E Exemples de modèles de givrage	68
E.1 Verglas	68
E.2 Givre	68
E.3 Neige collante	70
E.4 Verglas, givre et neige collante.....	70
E.5 Givre et neige collante	72
F Evaluation des modèles de givrage	74
F.1 Introduction.....	74
F.2 Verglas	74
F.3 Givre	76
F.4 Neige collante.....	76
F.5 Pertinence des données météorologiques locales.....	76
F.6 Disponibilité des informations relatives aux modèles de givrage	78
G Concepts de base des modèles de givrage.....	84
H Bibliographie.....	88
J Bibliographie complémentaire.....	90

	Page
Figure 1 – Strategy flow chart	21
Table 1 – Ice measurement parameters	29
Annexes (informatives)	
A Overview of weather parameters required by IEC 60826.....	45
B Overview of meteorological terms, data handling programs and forecasting models ..	49
B.1 Weather elements and weather parameters	49
B.2 General observation procedures	53
B.3 Meteorological forecasting models	57
C Examples of construction of ice load measuring rods and applicability to various types of icing	59
C.1 Glaze caused by freezing rain.....	59
C.2 In-cloud icing including hard rime and soft rime	59
C.3 Wet snow accretion	59
C.4 Dry snow accretion	59
D Examples of test spans.....	67
E Examples of icing models	69
E.1 Glaze ice	69
E.2 Rime ice	69
E.3 Wet snow	71
E.4 Glaze ice, rime ice and wet snow	71
E.5 Rime ice and wet snow	73
F Evaluation of icing models	75
F.1 Introduction	75
F.2 Glaze ice	75
F.3 Rime ice	77
F.4 Wet snow	77
F.5 Relevance of local weather data	77
F.6 Availability of information on icing models	79
G Basic icing model concepts.....	85
H Bibliography.....	89
J Bibliography for further reading	91

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

LIGNES AÉRIENNES – DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES POUR CALCULER LES CHARGES CLIMATIQUES

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 tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales.

Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OVERHEAD LINES –
METEOROLOGICAL DATA FOR ASSESSING
CLIMATIC LOADS****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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards.

In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 61774, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 11 de la CEI: Lignes aériennes.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
11/115/CDV	11/125/RVC

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

Le présent document est publié dans la série des Rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.3.2.2 de la partie 1 des Directives ISO/CEI) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des *bases de données de charges climatiques* en raison de l'urgence d'avoir une indication quant à la manière dont il convient d'utiliser les normes dans ce domaine pour répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce Rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61774-1997

IEC 61774, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 11: Overhead lines.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
11/115/CDV	11/125/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document is being issued in the Technical Report (type 2) series of publication (according to subclause G.3.2.2 of the ISO/IEC Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of *climatic load databases* because there is an urgent need for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this Technical Report (type 2) will be carried out not later than three years after its publication with the options of: extension for another three years, conversion into an International Standard, or withdrawal.

Annexes A to J are for information only.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61774:1997

LIGNES AÉRIENNES – DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES POUR CALCULER LES CHARGES CLIMATIQUES

1 Domaine d'application

L'objet du présent Rapport technique de type 2 est de fournir des recommandations sur des méthodes pour le développement de bases de données de charges climatiques. Cette démarche est nécessaire pour la mise en oeuvre de la CEI 60826 qui définit le cadre de normes nationales pour la conception de lignes aériennes. Toutefois, pour son utilisation pratique, les ingénieurs concepteurs doivent acquérir et utiliser des données climatiques, car les informations disponibles dans les codes et normes de calcul pour le bâtiment sont souvent insuffisantes. C'est le cas, en particulier, des informations relatives aux charges de givre.

L'objectif du présent rapport est de:

- a) rendre compte de la disponibilité et de l'utilisation correcte des données climatiques
- b) recommander des techniques de mesure simples normalisées
- c) étudier des modèles de givrage pour le calcul des charges de givre.

Chacun des aspects ci-dessus mentionnés relatifs aux charges de conception de lignes aériennes est présenté en détail dans les articles qui suivent. L'article 3 décrit le cadre – ou stratégie – dans lequel sont rassemblés ces différents aspects.

2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60826: 1991, *Charge et résistance des lignes aériennes de transport*

3 Généralités

3.1 Données météorologiques

L'objet de l'article 4 est de présenter les données météorologiques auxquelles il est fait référence dans la CEI 60826, les éléments et paramètres météorologiques desquels elles sont issues et une explication de quelques uns des termes utilisés par les météorologues. Le paragraphe 4.3 présente les informations relatives aux données météorologiques pour la conception des lignes aériennes, obtenues à partir de questionnaires envoyés à diverses compagnies d'électricité et instituts météorologiques nationaux. Le paragraphe 4.4 fait des recommandations concernant les procédures à utiliser pour obtenir les données les plus appropriées à la CEI 60826.

3.2 Charges de givre

3.2.1 Processus de givrage

Le givrage atmosphérique est un phénomène complexe qui peut prendre des formes diverses. Il est donc indispensable de bien identifier les caractéristiques distinctives de ces différentes formes pour spécifier les instruments de mesure et les modèles de givrage.

OVERHEAD LINES – METEOROLOGICAL DATA FOR ASSESSING CLIMATIC LOADS

1 Scope

This Technical Report (type 2) aims at providing advice on methods for developing climatic load databases. This is necessary for the implementation of IEC 60826 which provides the framework for National Standards on overhead line design. However, for its practical use, it is required that design engineers acquire and utilise climatic data, since sufficient information is often not available in existing building codes and standards. In particular there is a lack of information on ice loads.

The objective of this report is met by:

- a) reporting on the availability and proper use of climatic data
- b) recommending simple standardized measurement techniques
- c) reviewing icing models for computing ice loads.

The details of each of the foregoing aspects of overhead line design loads are presented in the following clauses. Clause 3 describes the framework – or strategy – linking these separate aspects together.

2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Technical Report. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this Technical Report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60826: 1991, *Loading and strength of overhead transmission lines*

3 General

3.1 Meteorological data

The purpose of clause 4 is to provide an introduction to the meteorological data referred to in IEC 60826, the weather elements and parameters from which they are derived, and an explanation of some of the terminologies used by meteorologists. Information about the availability of meteorological data for overhead line design obtained from questionnaires sent to several utilities and national meteorological institutions is presented in 4.3. In 4.4 recommendations concerning procedures for obtaining the data most appropriate to IEC 60826 are given.

3.2 Ice loads

3.2.1 Icing processes

Atmospheric icing is a complex phenomenon which can take a number of forms. It is essential both for the specification of measuring instruments and icing models that the distinguishing features of these different forms are recognized.

Le givrage atmosphérique est le résultat de deux processus atmosphériques principaux, appelés comme suit:

- a) brouillard givrant,
- b) givrage par précipitation.

Le second processus prend diverses formes dont les plus importantes sont:

- 1) pluie verglaçante,
- 2) accumulation de neige collante,
- 3) accumulation de neige sèche.

Un troisième processus entraîne la formation de ce qu'on appelle «gelée blanche», mais ne cause pas de charges de givre importantes sur les lignes aériennes et ne sera donc pas étudié plus en détail ici.

Le brouillard givrant est un processus où des gouttelettes en suspension et en surfusion dans un nuage (ou le brouillard) gèlent immédiatement au contact d'un objet exposé au flux d'air, par exemple une ligne de transport d'énergie de haut niveau située au-dessus de l'altitude de la base des nuages.

La formation de givre est dite sèche lorsque l'émission de chaleur par l'objet est plus importante que la chaleur latente de fusion libérée. La densité de l'accumulation est fonction du flux d'eau à la surface et de la température de la couche. Le givre accumulé résultant s'appelle givre léger ou givre compact en fonction de sa densité. Pour le givre léger, une densité type est de 300 kg/m^3 contre 700 kg/m^3 pour le givre compact.

La formation de givre est dite humide lorsque l'émission de chaleur par l'objet est inférieure à la chaleur latente de fusion libérée. La formation se produit alors au point de fusion, ce qui entraîne la formation d'une pellicule d'eau sur la surface. Le givre accumulé s'appelle alors verglas et présente une densité de 900 kg/m^3 .

Le givrage par précipitation peut se présenter sous diverses formes, y compris la pluie verglaçante, la neige collante et la neige sèche. La pluie verglaçante contient des gouttelettes en surfusion qui gèlent immédiatement au contact avec les objets. L'accumulation résultante est également du verglas. La température ambiante est inférieure au point de gel.

Lorsque des flocons de neige traversent une couche d'air dont les températures sont légèrement supérieures au point de gel, les flocons peuvent fondre partiellement, devenir collants et ainsi s'accumuler sur les objets. Ce phénomène est appelé accumulation de neige collante. La densité et l'adhérence sont très variables. Si la température ambiante chute de manière significative en dessous du point de gel après qu'une couche de neige collante s'est accumulée, le pouvoir adhésif et la résistance mécanique de la couche peuvent être extrêmement élevés. On a rapporté des cas exceptionnels où l'accumulation de neige collante s'est produite à des températures ambiantes légèrement en dessous du point de gel.

Les flocons de neige sèche peuvent s'accumuler à des températures nettement inférieures au point de gel et peuvent – par vent très faible – s'accumuler sur les objets pour former une accumulation de neige sèche.

Il convient de noter que l'accumulation sur un conducteur peut être le résultat de la combinaison de plusieurs processus se produisant pendant un événement givrant.

Atmospheric icing is a result of two main processes in the atmosphere which are named accordingly:

- a) in-cloud icing,
- b) precipitation icing.

The latter one occurs in several forms among which the most important are:

- 1) freezing rain,
- 2) wet snow accretion,
- 3) dry snow accretion.

There is a third process resulting in the formation of so-called "hoar frost" but this does not lead to significant ice loads on overhead lines and will not be considered further.

In-cloud icing is a process where suspended, supercooled droplets in a cloud (or fog) freeze immediately upon impact on an object exposed to the airflow, for instance, a high level power line above the cloud base.

The ice growth is said to be dry when the available heat transfer rate away from the object is greater than the release of the latent heat of fusion. The density of the accretion is a function of the flux of water to the surface and the temperature of the layer. The resulting accreted ice is called soft or hard rime according to the density. A typical density for soft rime is 300 kg/m^3 and 700 kg/m^3 for hard rime.

The ice growth is said to be wet when the heat transfer rate is less than the rate of latent heat release. The growth then takes place at the melting point, resulting in a water film on the surface. The accreted ice is called glaze with a density of 900 kg/m^3 .

Precipitation icing can occur in several forms, including freezing rain, wet and dry snow. Freezing rain comprises supercooled droplets which freeze immediately upon impact on objects. The resulting accretion is also glaze. The ambient temperature is below the freezing point.

When snowflakes fall through a layer of air with temperatures slightly above the freezing point, the flakes may partly melt, become sticky and thus accrete on objects. This is called wet snow accretion. The density and the adhesion may vary widely. If the ambient temperature drops significantly below freezing after a wet layer of snow has accreted, the adhesive and mechanical strength of the layer may become very high. In exceptional cases, wet snow accretions are known to have occurred with ambient temperatures slightly below freezing.

Dry snow flakes may accrete at temperatures significantly below freezing and can, under very low wind speed conditions, accumulate on objects to form a dry snow accretion.

It should be noted that the accretion on a conductor may be the result of more than one process occurring during an icing event.

3.2.2 Mesures du givrage

L'article 5 traite des mesures de la charge de givre. Il s'agit d'un problème complexe qui exige une interprétation prudente des résultats si ceux-ci doivent être appliqués de manière fiable à la conception de lignes aériennes. De telles interprétations exigent une bonne compréhension des différents types de givrage et des conditions météorologiques qui les accompagnent, des processus physiques associés à l'accumulation de givre et de leur interaction avec les caractéristiques mécaniques du système de conducteurs. Idéalement, il conviendrait d'utiliser une large gamme de paramètres de conducteurs et de lignes aériennes (diamètre des conducteurs, composition, rigidité en torsion, hauteur au-dessus du sol, etc.) et toute une gamme de paramètres de givrage et météorologiques (poids, densité, forme, précipitation du givre, taille des gouttelettes, vitesse du vent, température de l'air, etc.) qui, idéalement, devraient être mesurés sur un site d'essai. Le coût d'un site d'essai est souvent élevé, aussi faut-il faire des choix entre les avantages de l'utilisation de systèmes de mesure élémentaires ou de portées d'essai plus coûteuses.

3.2.2.1 Mesures élémentaires du givrage

Pour obtenir des données sur le givrage recouvrant un ensemble de sites – comparables aux stations météorologiques – des techniques élémentaires et relativement peu coûteuses, pouvant être répétées, doivent être définies. Il est recommandé que ces techniques permettent d'effectuer des mesures de telle manière qu'elles puissent être rapportées aux charges de givre rencontrées sur une ligne réelle sur le site de mesure. Ces techniques peuvent également constituer un moyen d'évaluer l'exposition comparative au givrage sur le site, par rapport à d'autres sites.

En définissant certaines exigences communes minimales pour les installations standard de base, on peut faire des comparaisons entre des mesures enregistrées sur différents sites, dans différentes régions ou différents pays. Cela contribuera à valider les mesures, renforcera la confiance dans les données et donnera une meilleure compréhension du givrage des conducteurs en fonction de la localisation, du climat et de la météorologie. Pour ce faire, des exigences d'instrumentation et de mesure standard minimales sont également spécifiées. Des systèmes de mesure manuels et automatiques sont décrits, car à certains endroits, le recueil manuel des données est soit impossible, soit trop coûteux.

Des installations et mesures supplémentaires optionnels sont décrits, en plus des exigences minimales applicables aux dispositifs de base. Elles peuvent améliorer la qualité des données et faciliter leur rapprochement avec les lignes particulières objet de l'étude.

3.2.2.2 Portées d'essai

Les portées d'essai constituent un moyen intéressant de recueillir des données sur le vent et la charge de givre, car elles reproduisent plus fidèlement les lignes aériennes réelles. La construction et la maintenance des portées d'essai étant coûteuses, ces portées sont en général limitées à quelques sites. Elles consistent parfois à construire quelques portées de lignes hors tension sur des poteaux en bois. Elles peuvent également être réalisées par l'instrumentation ou l'observation détaillée de portées de lignes en service.

Dans un certain nombre de pays, des organismes travaillent sur des lignes d'essai de complexité variable représentant des objectifs différents et soumises aux contraintes imposées par les coûts, la main-d'oeuvre et la localisation géographique. L'objet du présent rapport n'est pas de définir une portée d'essai standard. Une liste de portées d'essai «fabriquées spécialement» et de portées d'essai sur «lignes réelles» est donnée dans l'annexe D. Cette liste donne des informations sur leur construction, leur implantation et leur instrumentation.

Toutefois, il est fortement recommandé de mettre en place un râtelier de mesure de givre au moins conforme aux exigences minimales présentées en 5.2.3 à chaque site d'essai, qu'il soit nouveau ou ancien. On peut élaborer des fonctions de transfert en comparant les données du râtelier de mesure de givre et les données de la ligne d'essai, afin de prendre en compte, par exemple, les différences de rigidité en torsion ou de diamètre du conducteur et sa hauteur au-dessus du sol.

3.2.2 Icing measurements

Clause 5 deals with ice load measurements. This is a complex problem requiring careful interpretation of the results if they are to be applied reliably to overhead line design. Such interpretations require an understanding of the different types of icing and their associated meteorological conditions, the physical processes associated with ice accretion and their interaction with the mechanical characteristics of the conductor system. There is a range of conductor and overhead line parameters which should ideally be employed (conductor diameter, stranding, torsional stiffness, height above ground, etc) and a range of icing and meteorological parameters (ice weight, density, shape, precipitation, droplet size, wind speed, air temperature, etc) that should ideally be measured at a test site. The cost of a test site is often high and decisions have to be made between the merits of using basic measurement systems or more expensive test spans.

3.2.2.1 Basic icing measurements

To obtain icing data covering a range of locations – comparable to meteorological stations – basic, relatively inexpensive techniques that can be replicated have to be defined. Such techniques should allow measurements to be made so that they can be related to the ice loads which would be experienced by a real line at the measurement site. These techniques may also provide a means for assessing the comparative exposure to icing at the site, relative to other sites.

By defining certain minimum common requirements for the basic standard rigs, comparisons can be made between measurements recorded at different sites in different areas or countries. This will assist in validating the measurements, increase the confidence in the data and allow a better understanding of conductor icing in relation to location, climate and meteorology. In order to achieve this, minimum standard instrumentation and measurement requirements are also specified. Both manual and automatic measurement systems are described because, in some locations, manual data collection is either not practicable or may be more expensive.

In addition to the minimum requirements for the basic rigs, optional additional facilities and measurements are described. These can improve the quality of the data and make it more readily related to the specific lines under consideration.

3.2.2.2 Test spans

Test spans are an advantageous way of obtaining wind and ice load data as they more closely represent real overhead lines. Because test spans are expensive to build and maintain they are generally restricted to a few sites. Sometimes they are formed by building a few spans of unenergised line on wood poles. They may also be provided by instrumenting or making detailed observations of spans of in-service lines.

Organizations in a number of countries have operated test lines of varying complexity, reflecting different objectives and subject to constraints imposed by cost, manpower and location. It is not proposed to define a standard test span; a list of both "purpose-built" test spans and "real-line" test spans is provided in annex D, giving some information on their construction, location, instrumentation, etc.

However, it is strongly recommended that at each new or continuing test site, an ice rack meeting at least the minimum requirements, as introduced in 5.2.3, should be erected. By means of comparisons between the ice rack data and the test line data, transfer functions can be constructed to make allowance for the differences in, for example, torsional stiffness or diameter of the conductor and its height above ground.

3.2.3 Modèles de givrage

Il est évidemment intéressant d'utiliser des modèles de givrage pour obtenir des données relatives à la charge de givre. Certains modèles de givrage utilisent des approches relativement simples et se limitent à un type de givrage particulier, tandis que d'autres partent d'équations plus fondamentales et peuvent recouvrir un ensemble de types de givrage. On trouvera à l'article 6 une étude de certains modèles de givrage. L'accumulation de givre implique des processus complexes de mécanique des fluides et de thermodynamique. Des données empiriques sont en général nécessaires pour certains aspects de la théorie, comme par exemple la relation entre la densité de l'accumulation et la vitesse du vent, ou les caractéristiques de transfert thermique d'une surface.

Les modèles de givrage peuvent être utilisés à la fois pour estimer les charges de givre dans des conditions définies et pour calculer les statistiques de givrage à partir d'une base de données historique de conditions météorologiques. Dans la plupart des cas, les informations précises requises comme entrées des modèles de givrage n'existent pas dans telles bases de données. Par exemple, la taille des gouttelettes ou l'intensité de la neige doivent être estimées à partir des données disponibles.

Les modèles permettent de déterminer des fonctions de transfert à partir de mesures de givre sur râteliers ou sur portée d'essai. Ces fonctions de transfert permettent d'estimer les charges de givre pour les lignes utilisant des conducteurs de différents diamètres, différentes caractéristiques mécaniques, sur des sites où les conditions de givrage sont d'intensité variable. De cette manière, les modèles et les mesures interagissent pour améliorer la qualité des extrapolations et des prévisions.

3.3 Galop (informatif)

Outre les charges de givre sur les conducteurs, l'accumulation de givre peut également donner lieu à une oscillation des conducteurs, causée par le vent, appelée galop. Ce phénomène, totalement différent de la vibration éolienne ou de l'oscillation du sous-conducteur, est une oscillation basse fréquence de grande amplitude, essentiellement verticale. Les fréquences s'étendent jusqu'à environ 1 Hz et les amplitudes vont en général de quelques mètres à la flèche de la portée. Les températures de l'air ne sont en général que de quelques degrés au-dessus ou en dessous de zéro et la vitesse du vent peut être de 5 m/s à 25 m/s. L'accumulation de givre produit un profil de conducteur qui génère à la fois une portance et un moment aérodynamiques. Ces caractéristiques peuvent être telles que le conducteur devient instable du point de vue aérodynamique et «galope». Le point de départ de l'instabilité peut souvent être observé au milieu de la portée, et son intensité est essentiellement influencée par la vitesse du vent, sa direction, la rigidité en torsion du conducteur, l'intensité étant différente suivant qu'il s'agit d'un conducteur unique ou d'un faisceau de conducteurs. Dans le cas des faisceaux, d'autres aspects tels que les caractéristiques des pylônes et du matériel peuvent également être importants.

Ce phénomène connexe du givrage est mentionné aux fins d'exhaustivité, mais ne sera pas abordé plus en détail dans le présent rapport.

3.4 Stratégie d'utilisation des données et des modèles

La figure 1 illustre la stratégie générale qu'il convient d'utiliser pour relier entre eux les trois aspects décrits en 3.2, 3.3 et 3.4 afin de fournir les données d'entrée de la CEI 60826. Dans la figure, ils sont représentés par les trois cases supérieures et constituent les ressources dont dispose, idéalement, l'ingénieur concepteur de lignes aériennes.

Si la ligne aérienne n'est pas sujette au givrage et que des données complètes sur les vitesses extrêmes du vent existent dans la base de données météorologiques générales, le cas est simple. Les exigences de la CEI 60826 sont alors respectées sans modification, sauf en ce qui concerne le transfert des données de leur site d'origine au site de la ligne aérienne.

3.2.3 Icing models

The use of icing models to provide ice load data is obviously attractive. Some icing models use relatively simple approaches and are restricted to a particular type of icing, while others start from more fundamental equations and can address a range of icing types. A review of some icing models is given in clause 6. Ice accretion involves complex processes in fluid mechanics and thermodynamics. Empirical data are usually required for certain aspects of the theory, for example the relationship between accretion density and windspeed, or the heat transfer characteristics of a surface.

Icing models may be used both to estimate ice loads for defined conditions and to compute icing statistics from a historical database of meteorological conditions. In most cases, the precise information required as input to icing models is not available from such database. For example, droplet size or snow intensity must be estimated from the available data.

Icing models enable transfer functions to be determined from ice measurements on rigs or test spans. These transfer functions enable ice loads to be estimated for lines employing conductors of different diameters, different mechanical characteristics and at sites with different intensities of icing conditions. In this way, the models and measurements interact with each other to improve the quality of such extrapolations and predictions.

3.3 Galloping (informative)

In addition to ice loads on conductors, ice accretion may also lead to a wind-induced oscillation of the conductors known as galloping. This phenomenon, which is quite distinct from aeolian vibration or sub-conductor oscillation, is a low frequency, mainly vertical oscillation of high amplitude. Frequencies range up to about 1 Hz and amplitudes usually range from a few metres to the sag of the span. The air temperatures are usually only a few degrees above or below zero and the wind speed may range between 5 m/s and 25 m/s. The ice accretion produces a conductor profile which generates both aerodynamic lift and moment. These characteristics may be such that the conductor becomes aerodynamically unstable and gallops. The start of the instability may often be observed in the middle of the span, and the intensity is mainly influenced by the wind speed, the wind direction, the torsional stiffness of the conductor and whether it is a single conductor or a bundle; in the case of bundles, other aspects such as the tower and hardware characteristics may also be important.

This icing-related phenomenon is mentioned for completeness, but no further consideration is given to it in this report.

3.4 Strategy for employing data and models

Figure 1 shows the general strategy for linking together the three aspects described in 3.2, 3.3 and 3.4 to provide the input data to IEC 60826. In the figure they are represented by the top three boxes and are the resources ideally available to the overhead line engineer.

A simple case exists if the overhead line is not subject to icing and extensive data on extreme wind speeds are available from the general meteorological database. Then the requirements of IEC 60826 are met without modification, except for the transfer of data from their sites of origin to the site of the overhead line.

La situation est beaucoup plus complexe dès lors qu'il y a givrage. Un deuxième niveau de simplification est possible si un modèle de givrage ou une équation empirique suffisamment fiable pour pouvoir être utilisés avec la base de données météorologique générale sont disponibles: les données relatives au râtelier de mesure de givre ne sont alors pas nécessaires. Par ailleurs, si des données relatives au râtelier de mesure de givre sont disponibles en quantité suffisante des points de vue historique et géographique, les modèles de givrage ne sont alors plus nécessaires. En général, toutefois, les données acquises par les procédures indiquées en figure 1 seront requises.

Les données météorologiques et de givrage historiques (cases supérieures gauche et droite) doivent être transposées de leur site d'origine au site de la ligne aérienne (données locales). Les données théoriques de givrage sont alors générées à partir des données météorologiques locales, au moyen du modèle de givrage (case centrale supérieure). La taille des gouttelettes et la teneur en eau liquide n'étant pas directement disponibles dans les données météorologiques historiques, elles doivent être évaluées à partir d'autres données historiques avant le calcul des données de givrage.

Une comparaison entre les données de givrage théoriques et mesurées est nécessaire afin de s'assurer que les résultats expérimentaux peuvent être interprétés correctement et que les modèles théoriques sont réalistes, ce qui améliore la qualité des fonctions de transfert dérivées de chacun d'entre eux. On la représente par une ligne de retour d'information de la case «comparaison» au modèle de givrage.

Si la comparaison s'avère acceptable, les données de givrage résultantes doivent être encore modifiées en prenant en compte les données relatives au conducteur et à la portée. Les données de givrage finales peuvent alors être traitées statistiquement afin de produire les données de conception sur la charge de givre. En outre, en même temps que les données relatives au vent, la force du vent sur les conducteurs givrés est obtenue et peut être traitée statistiquement.

The situation is far more complicated as soon as icing occurs. However, a second level of simplification would exist if an icing model or empirical equation of sufficient reliability for use with the general meteorological database was available: ice rack data would not then be necessary. On the other hand, if ice rack data were available to a sufficient extent, historically and geographically, there would be no need for icing models. In general, however, data acquired through the procedures indicated in figure 1 will be required.

The historical meteorological and icing data (top left and right boxes) need to be transferred from sites of origin to the site of the overhead line (local data). Theoretical icing data are then generated from the local meteorological data, using the icing model (top middle box). Since droplet size and liquid water content are not directly available from the historical meteorological data, they have to be evaluated from the other historical data before the calculation of icing data.

A comparison between the theoretical and measured icing data is needed to ensure that the experimental results can be correctly interpreted and that the theoretical models are realistic, thereby improving the quality of the transfer functions derived from each. This is indicated by a feedback from the "comparison box" to the icing model.

If the comparison turns out to be acceptable, the resulting icing data have to be further modified by taking conductor and span data into account. The final icing data can then be statistically processed to give the design data on ice load. In addition, together with the wind data, the wind force on iced conductors is obtained and can be statistically processed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61774:1997

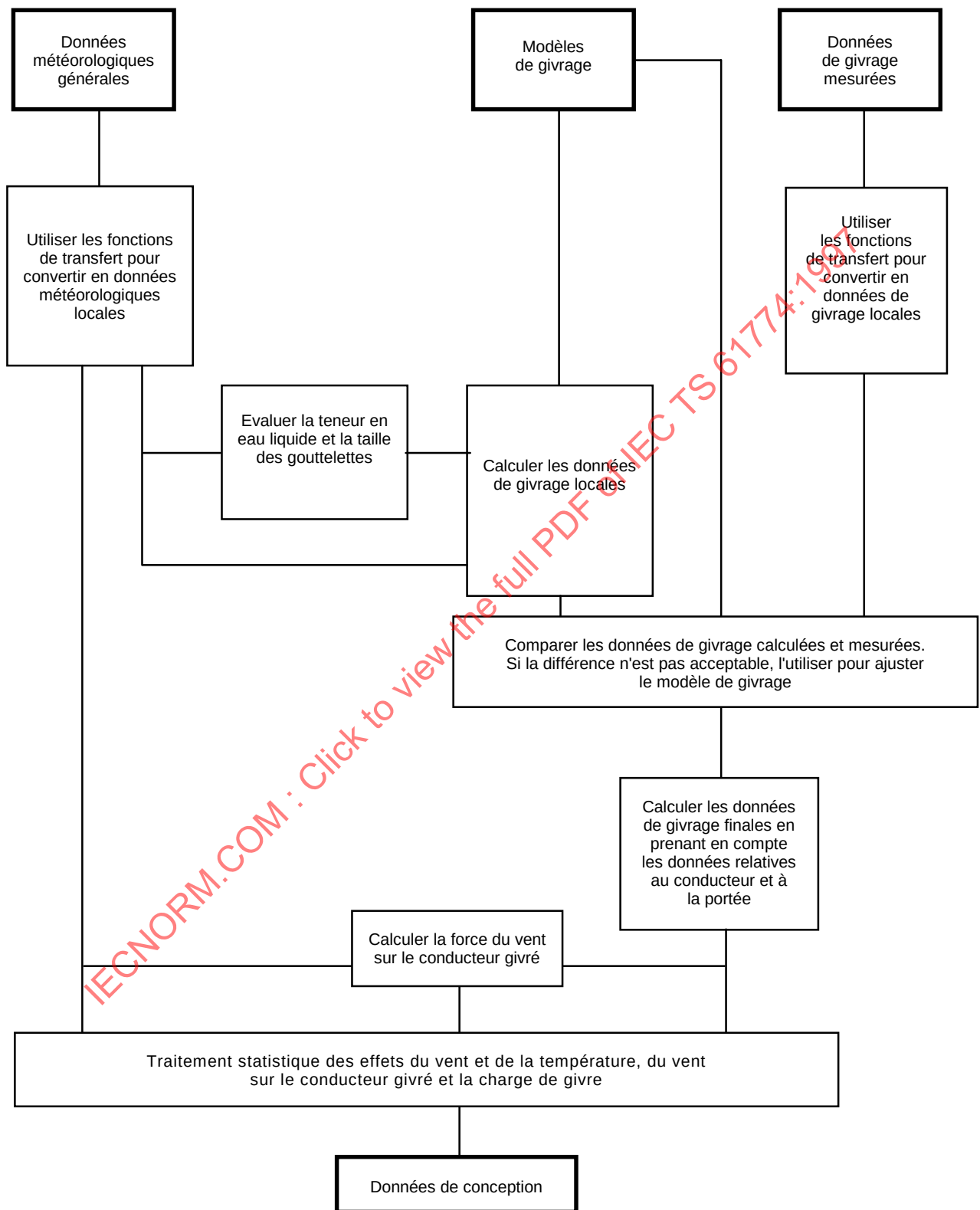


Figure 1 – Synoptique de la stratégie

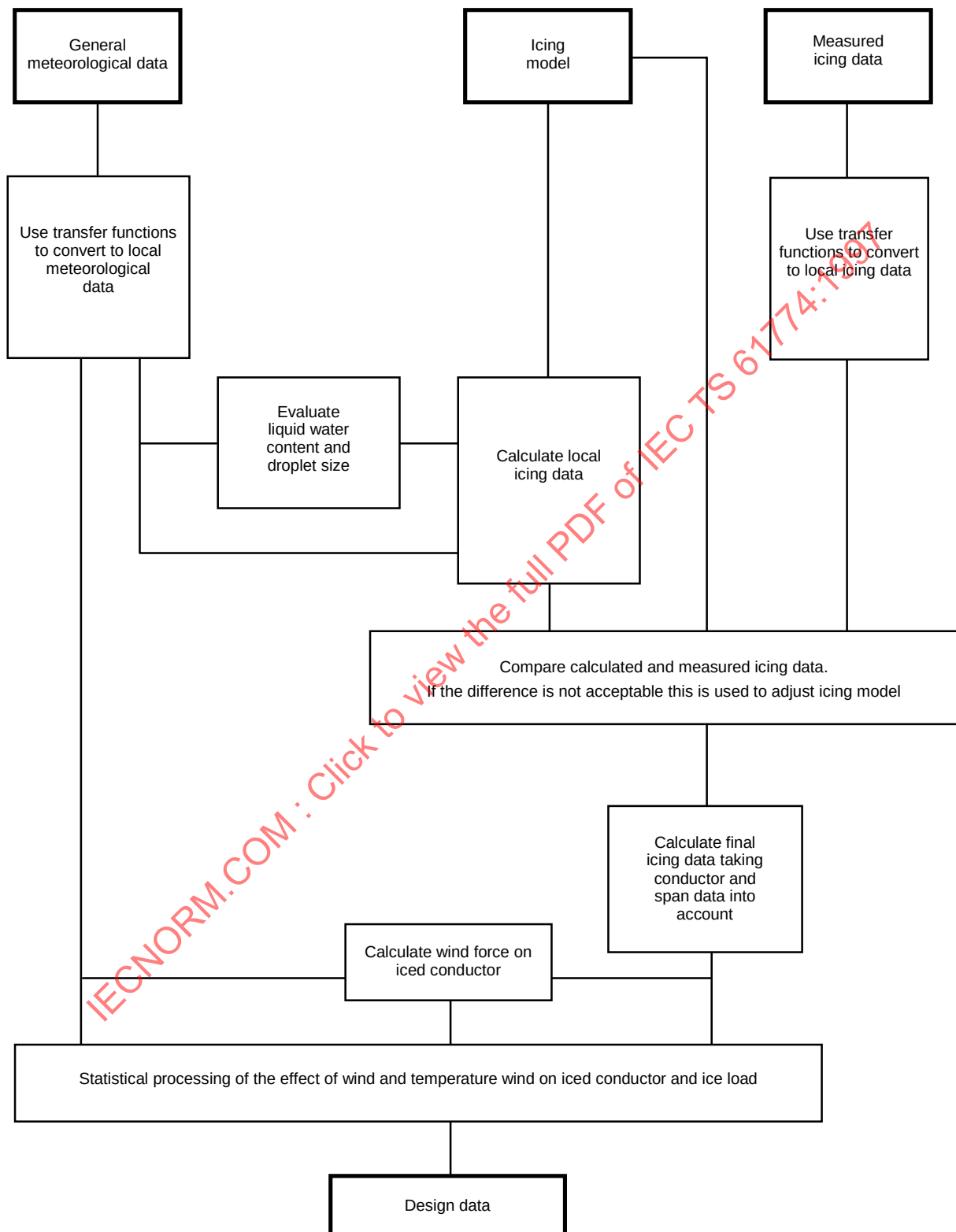


Figure 1 – Strategy flow chart

4 Données météorologiques générales

4.1 Introduction

Du fait de la nécessité de disposer de données météorologiques générales pour la conception de lignes aériennes de transport d'énergie, l'objet du présent article est de clarifier la situation actuelle et de définir des méthodes permettant d'accéder aux données nécessaires de manière plus efficace. La météorologie est une science qui est directement dépendante de l'évolution de la capacité des ordinateurs aussi les utilisateurs devraient-ils jouer un rôle actif dans ce sens.

Le paragraphe 4.2 présente les spécifications de la CEI 60826. L'annexe A les présente plus en détail.

Le paragraphe 4.3 présente, à partir des questionnaires envoyés aux concepteurs de lignes aériennes et aux instituts météorologiques de plusieurs pays, une étude sur la disponibilité des données météorologiques. Le paragraphe 4.4 recommande une procédure permettant d'aider à l'obtention des données nécessaires.

Dans le but d'améliorer les communications entre les concepteurs de lignes aériennes et les instituts météorologiques, l'annexe B présente sommairement les termes utilisés en météorologie, les procédures générales d'observation et de mesure et le format de stockage des données. Cette annexe indique également de nouvelles possibilités d'obtenir des données de meilleure qualité sur différents sites par les procédures d'un modèle à mailles fines (MMF).

4.2 Paramètres météorologiques exigés par la CEI 60826

4.2.1 Généralités

Les articles 3.2, 3.3 et 3.4 de la CEI 60826 montrent bien combien il est important de disposer de données météorologiques. Pour des raisons de commodité, une présentation d'ensemble des paramètres en question est donnée à l'annexe A. Une grande partie des données météorologiques requises sont associées à l'évaluation de la charge de givre.

4.2.2 Charges éoliennes et thermiques

Les données relatives au vent nécessaires à la conception des lignes aériennes se trouvent en général dans les codes nationaux de calcul pour le bâtiment. Lorsque ces codes sont inadaptés, il convient que des données supplémentaires et des informations pertinentes soient demandées aux instituts météorologiques nationaux. En terrain complexe, il est recommandé que le choix des vitesses de vent de conception soit réalisé par des spécialistes.

La plupart des données de température utiles pour la conception des lignes aériennes sont en général disponibles. Toutefois, il convient d'être prudent dans les régions éloignées pour lesquelles les données disponibles sont limitées.

4.2.3 Éléments météorologiques nécessaires pour les modèles de givrage

La quantité de givre ne figure pas parmi les éléments météorologiques généralement mesurés par les instituts météorologiques. L'article 3.3 de la CEI 60826 n'exige aucune donnée météorologique générale supplémentaire. Toutefois, les modèles de givrage étant introduits comme moyen de générer des données sur la charge de givre, d'autres éléments météorologiques sont nécessaires, à savoir:

- le vent,
- la température de l'air,
- les précipitations,
- la pression de l'air,
- les nuages,
- l'humidité relative,
- la visibilité,
- la teneur en eau liquide dans l'air,
- la taille des gouttelettes.

Chaque élément est représenté par ses paramètres correspondants (voir annexe B).

4 General meteorological data

4.1 Introduction

In view of the need for general meteorological data in overhead power line design, it is the purpose of this clause to clarify the present situation and to outline methods for a more efficient way of accessing the data needed. Meteorology is a science strongly dependent on evolution in computer capacity, and the users should play an active role in taking advantage of this trend.

In 4.2 a review is given on the specifications of IEC 60826. Annex A gives a more detailed survey.

Based on questionnaires to overhead line designers and meteorological institutions in different countries, a survey is presented in 4.3 of the availability of meteorological data. A procedure is recommended in 4.4 to assist in obtaining the needed data.

To improve the communication between overhead line engineers and meteorological institutions, annex B gives a brief introduction to terms used in meteorology, to general observation and measuring procedures and to the format of data storage. Attention is also drawn to new possibilities for obtaining better data at different sites by the Limited Area Model (LAM) procedures.

4.2 Weather parameters as required by IEC 60826

4.2.1 General

The need for meteorological data is apparent from clauses 3.2, 3.3 and 3.4 of IEC 60826. For convenience an overview of the parameters in question is given in annex A. A great part of the need for meteorological data is associated with an evaluation of the ice load.

4.2.2 Wind and thermal loads

Wind data needed for overhead line design are generally found in national building codes. When such codes are inadequate, additional data and relevant information should be requested from the national meteorological institutions. In complex terrain, the selection of design wind speeds should be performed by specialists.

Most relevant temperature data for overhead line design are generally available. Care should be taken with remote areas having limited data coverage.

4.2.3 Weather elements required by icing models

The amount of ice is not among the weather elements generally measured by the meteorological institutions. Clause 3.3 of IEC 60826 does not require any additional general meteorological data. However, since icing models are introduced as a possibility to generate ice load data, other meteorological elements are required. These are:

- wind,
- air temperature,
- precipitation,
- air pressure,
- clouds,
- relative humidity,
- visibility,
- liquid water content in the air,
- droplet size.

Each element is represented by its relevant parameters (see annex B).

4.3 Disponibilité des données météorologiques pour la conception des lignes aériennes

Des questionnaires ont été distribués aux ingénieurs concepteurs de lignes aériennes (ILA) et aux instituts météorologiques (IM).

L'objet principal des questionnaires était d'une part de dégager une vue d'ensemble de l'état actuel de l'utilisation et des besoins en informations météorologiques liées à la conception des lignes aériennes et d'autre part de connaître le potentiel de disponibilité des informations météorologiques dans différents pays.

Un deuxième objectif des questionnaires était de vérifier la disponibilité des informations météorologiques nécessaires à la conception des lignes aériennes requises par la CEI 60826, en coopération avec les différents instituts météorologiques.

Il en ressort que le besoin de données météorologiques pour la conception de lignes aériennes varie grandement d'un pays à l'autre. Cette variation reflète essentiellement les conditions climatiques et topographiques de chaque pays, ainsi que les différences de traditions et de philosophie de conception nationales.

Les réponses des instituts météorologiques montrent que les systèmes de mesure et d'observation météorologiques sont très semblables. Tous les pays suivent le code synoptique généralement adopté pour les mesures et les heures standard d'observation, mais le nombre de stations où les observations sont plus fréquentes (toutes les heures et toutes les demi-heures) est plus variable.

On peut en général se procurer facilement les informations de température requises pour la conception des lignes aériennes auprès des instituts météorologiques.

Pour les vents extrêmes, la plupart des pays fournissent des cartes des vents répondant aux besoins des concepteurs de lignes aériennes. Ces cartes sont basées sur des mesures météorologiques régulières. La distribution des extrêmes selon les directions peut également être fournie par les instituts météorologiques de plusieurs pays. Si nécessaire, des données supplémentaires peuvent être fournies.

La quantité de données liée au givrage atmosphérique est toutefois limitée dans les instituts météorologiques. Du fait que ce phénomène n'est prédit que pour les besoins des services aéronautiques, peu de données autres que les paramètres météorologiques terrestres généralement observés sont disponibles.

Le niveau de coopération entre les ILA et les IM varie considérablement. Il existe dans certains pays une longue tradition de coopération. Les instituts météorologiques de ces pays coopèrent en général avec d'autres secteurs de l'industrie du bâtiment et ont atteint un niveau de connaissance considérable sur les paramètres utiles aux travaux d'ingénierie.

Le potentiel de coopération futur entre les ILA et les IM semble important si l'on en juge par les réponses des deux groupes. Les IM ne disposant en général pas de budget interne pour des projets particuliers, la majorité d'entre eux se sont déclarés prêts à coopérer plus avec l'industrie du bâtiment sous réserve que toutes leurs dépenses soient prises en charge.

4.4 Procédures recommandées

La procédure à suivre pour mettre en oeuvre les principes de conception décrits dans la CEI 60826 dépendra d'une part de la précision des descriptions climatiques existant pour le pays, d'autre part de ses variations climatiques particulières.

De nombreux pays et régions fournissent des données climatiques d'un niveau de précision acceptable. On peut par ailleurs trouver les paramètres dans les codes de calcul pour le bâtiment ou les publications météorologiques.

Si de telles données ne sont pas publiées, la procédure à suivre dépend des délais de planification des nouvelles lignes aériennes.

4.3 Availability of meteorological data for overhead line design

Questionnaires were distributed to overhead line engineers (OLEs) and meteorological institutions (MIs).

The main objective of the questionnaires was to obtain an overview of the present state of the use and need for meteorological information related to overhead line design and to learn the potential for the availability of meteorological information in different countries.

A second objective of the questionnaires was to ascertain the availability of the meteorological information needed for overhead line design as required by IEC 60826, in cooperation with the respective meteorological institutions.

As a general conclusion, the need for meteorological data for the overhead line design varies significantly from country to country. This variation reflects mainly the climatic and topographic conditions in each country, as well as differences in national traditions and design philosophies.

The answers from the meteorological institutions show that the systems for weather measurements and observations are very similar. All countries follow the generally adopted synoptic code for measurements and standard observation hours, but the number of stations with more frequent observations (hourly and half-hourly) is more variable.

In general, temperature information required for overhead line design is readily available from meteorological institutions.

Most countries provide wind maps for extreme winds covering the demands for designing overhead lines. These maps are based on regular meteorological measurements. Directional distributions of extremes may also be provided by meteorological institutions in several countries. If needed, additional data may be provided.

The amount of data related to atmospheric icing is, however, limited at the meteorological institutions. As this phenomenon is forecast only for aeronautical purposes, limited ground-based data are available other than the generally observed weather parameters.

The level of cooperation between OLEs and MIs varies widely. In some countries there is a long tradition of such cooperation. The meteorological institutions in such countries generally cooperate with other branches of the building industry and have advanced to a high level of knowledge about relevant parameters for engineering purposes.

The potential for further co-operation between OLEs and MIs seems to be high according to the answers from both groups. As the MIs generally have no internal funds for special projects, the majority have expressed their interest in serving the building industry further if all their costs are covered.

4.4 Recommended procedures

In the implementation of the design principles as described in IEC 60826, the procedure to follow will depend on the degree of climatic description existing for the country, as well as its inherent climatic variations.

In many countries and regions climatic data are available at an acceptable level of accuracy, and the parameters are found in building codes or meteorological publications.

In case such data are not published, the procedure to follow depends on the time horizon for planning new overhead lines.

Il est nécessaire, au minimum, d'entreprendre les deux actions ci-dessous:

- Contact avec les autorités météorologiques compétentes pour vérifier quelles sont les informations disponibles.
- Recherche d'une assistance météorologique afin d'évaluer les paramètres dans les régions non couvertes par les données existantes.

En outre, dans le cadre de la planification des systèmes, y compris la reconstruction de lignes anciennes, il convient de conduire des programmes d'acquisition des données en coopération avec les autorités météorologiques. Il est donc recommandé:

- d'étudier les possibilités de coopération sur les observations et mesures particulières à effectuer au sein du réseau météorologique existant
- d'étudier les possibilités de programmes de mesures spéciaux susceptibles d'être conduits en totalité ou en partie par l'institut météorologique
- de déterminer la nécessité de programmes de mesures séparés conduits par les compagnies d'électricité.

Dans le cas de mesures spéciales, il convient que les données soient corrélées avec des données météorologiques standard ou d'autres données de référence, avec des séries chronologiques suffisamment longues pour permettre l'analyse des valeurs extrêmes. La confiance des valeurs de conception, basée sur les mesures spéciales, dépendra de la longueur de la série de mesures et du temps nécessaire à l'obtention d'une corrélation satisfaisante avec les données de référence.

5 Mesures de la charge de givre

5.1 Introduction

Comme indiqué en 3.2.2, la mesure de charge de givre sur les conducteurs des lignes aériennes est un problème complexe. De plus, les environnements sont, dans la plupart des cas, défavorables aux instruments sensibles. Il est de ce fait nécessaire d'utiliser des techniques de mesures non conventionnelles pour obtenir des données fiables.

La charge de givre de conception utilisée pour une ligne aérienne donnée devrait idéalement être basée sur des mesures effectuées sur le même type de conducteur que celui qui est utilisé sur la ligne, avec les mêmes longueurs de portée, configuration de ligne, hauteur au-dessus du sol, etc. Le coût de tels systèmes de mesure étant généralement prohibitif, des dispositifs plus simples et moins coûteux doivent être utilisés. Les données produites par ces derniers doivent alors être transformées afin de satisfaire aux exigences fixées pour les données d'entrée en question.

L'objet du présent article est d'abord de décrire quelques dispositifs de mesure recommandés pour les divers types de givrage. De tels dispositifs peuvent être appliqués en plus grand nombre afin de quantifier les variations géographiques des charges de givre (voir 5.2).

Il n'est pas justifié à ce stade de recommander des portées d'essai standard. Le paragraphe 5.3 donne plutôt quelques règles générales pour les portées d'essai. On trouvera dans l'annexe D des exemples de portées d'essai utilisées dans un certain nombre de pays.

Toutefois, si un programme majeur de mesures de charge de givre doit être conduit sur la base de certains des dispositifs décrits en 5.2, le programme peut être complété par un nombre plus réduit de portées d'essai afin d'augmenter le niveau de confiance lors de la conversion des charges de givre mesurées en charges de givre sur les conducteurs.

As a minimum, it is necessary to undertake the following two actions:

- Contact the relevant meteorological authorities to check what information is readily available.
- Seek meteorological assistance to evaluate parameters in areas not covered by available data.

In addition, as part of system planning, including rebuilding old lines, data acquisition programmes should be carried out in cooperation with the meteorological authority. It is therefore recommended to:

- investigate cooperation on special observations and measurements to be performed within the regular meteorological network,
- investigate special measurement programmes that may be undertaken, totally or partly, by the meteorological institution,
- determine the need for separate measurement programmes to be undertaken by the utilities.

In the case of special measurements, data should be correlated with regular meteorological data or other reference data with time series long enough for extreme value analysis. The confidence of design values, based on the special measurements, will depend on the length of the measurement series and how quickly satisfactory correlation with the reference data is obtained.

5 Ice load measurements

5.1 Introduction

As mentioned in 3.2.2, ice load measurement on overhead line conductors is a complex problem. In addition, the environments are most often unfavourable for sensitive instruments. Therefore unconventional measuring techniques are needed to obtain reliable data.

The design ice load employed for a certain overhead line should ideally be based on measurements on the same conductor type as the one to be used on the line with the same span lengths, line configuration, height above ground, etc. As the costs of such measurement systems generally are prohibitive, simpler and cheaper devices have to be used. Data from the latter must then be scaled (transformed) to meet the requirements set for the input data in question.

The purpose of this clause is first to describe a few recommended measuring devices for the various types of icing. Such devices may be applied in greater numbers to quantify the geographical variations of ice loads (see 5.2).

At this stage, it is inappropriate to recommend standard test spans. Instead, in 5.3 some general rules for such test spans are given. In annex D examples of test spans used in a number of countries are briefly summarized.

However, if an extensive programme for ice load measurements is to be carried out on the basis of some of the devices described in 5.2, the programme may be supplemented by a smaller number of test spans in order to increase the confidence level when converting the measured ice loads into conductor ice loads.

5.2 Méthodes standard et options recommandées pour les mesures de charge de givre associées aux conducteurs de lignes aériennes

5.2.1 Généralités

Ces recommandations s'appliquent à des dispositifs simples utilisés pour recueillir les informations de givrage pour les besoins de la conception des lignes aériennes. Leur simplicité devrait permettre d'en utiliser un plus grand nombre. D'autre part, elles peuvent compléter les installations de mesures ou portées d'essai de givre plus coûteuses et plus précises qui ne peuvent être utilisées qu'en nombre limité.

L'objet de la recommandation est de spécifier la conception des installations en fonction des divers types de givrage prévus, d'indiquer ce qu'il convient de prendre en compte pour la sélection des emplacements des installations et de spécifier des méthodes de mesure.

5.2.2 Considérations relatives aux mesures de charge de givre

Du fait que les processus physiques d'accumulation de givre recouvrent à la fois le givre léger et le givre compact (sec et humide), la pluie en surfusion, la neige collante et la neige sèche, les dispositifs de mesure sont spécifiés en conséquence. Le choix du dispositif doit donc prendre en compte le processus de givrage le plus probable.

Lors du choix d'une configuration d'installation, la méthode de mesure (manuelle ou automatique) et le programme de mesures, ainsi que l'objet principal de la mesure doivent être pris en compte. Le tableau 1 en donne un résumé.

Tableau 1 – Paramètres de mesures de givre

Objet	Données de charge de givre requises	Délai
Etalonnage ou développement de modèles de givrage	Série chronologique de tous les événements de givrage	Minutes à heures
Evaluation statistique de modèles de givrage	Valeur maximale de chaque événement	Heures à jours
Valeurs de conception	Extrêmes annuels	Années

En outre, les informations supplémentaires éventuellement nécessaires doivent être prises en compte, comme par exemple:

- les mesures de densité du givre,
- la géométrie de l'accumulation,
- la variation en fonction du diamètre du conducteur,
- la variation en fonction de la composition du conducteur,
- la variation en fonction de la rigidité en torsion.

Du fait des variantes de conception possibles des installations de givrage, il est important d'établir un certain nombre de caractéristiques communes minimales concernant la construction de l'installation et les programmes d'acquisition de données à mettre en oeuvre au niveau de chaque site. Il est recommandé que des caractéristiques supplémentaires soient incluses à la conception de l'installation et au programme de mesure à titre de complément lorsque cela est jugé souhaitable.

5.2 Standard methods and recommended options for ice load measurements associated with overhead line conductors

5.2.1 General

These recommendations apply to simple devices used to gather information about icing conditions for overhead line design purposes. Their simplicity should allow greater numbers of them to be employed and, where appropriate, they may supplement the more costly and accurate ice measurement rigs or test spans which can be used only in limited numbers.

The purpose of the recommendation is to specify rig design according to the various expected types of icing, to point out considerations for selecting the locations for rigs and to specify measurement methods.

5.2.2 Consideration for ice load measurements

As the physical ice accretion processes vary from soft and hard rime icing (dry and wet) and supercooled rain to wet snow and dry snow, the measuring devices are specified accordingly. The selection of device must therefore take into account the icing process most likely to occur.

When selecting a rig configuration, method of measurement (manual or automated) and programme of measurements, the main aim of the measurement must be considered. A summary is given in table 1.

Table 1 – Ice measurement parameters

Purpose	Ice load data required	Time scale
Calibration or development of icing models	Time series of all icing events	Minutes to hours
Statistical evaluation of icing models	Maximum value of each event	Hours to days
Design values	Annual extremes	Years

In addition, the need for any supplementary information has to be taken into account, such as:

- a) ice density measurements,
- b) geometry of the accretion,
- c) variation with conductor diameter,
- d) variation with conductor stranding,
- e) variation with torsional stiffness.

Because of the possible variations in icing rig design, it is important to establish certain minimum common features regarding both the rig construction and the data acquisition routines to be implemented at every site. Additional features should be included in the rig design and measurement programme as supplements where they are considered advisable.

5.2.3 Recommandations minimales

Le présent paragraphe décrit les méthodes de construction et d'installation de tiges normalisées simples de mesure de charge de givre. Les mesures peuvent être effectuées manuellement ou automatiquement. Les types de construction de base et certaines indications pour l'établissement des installations sont décrits. Les dimensions de certains instruments spéciaux peuvent différer des valeurs recommandées dans le présent rapport. Certains exemples de construction de dispositifs de mesure automatiques sont donnés à l'annexe A.

5.2.3.1 Diamètre de la tige

Le diamètre de la tige doit être de 30 mm (tel que spécifié dans la CEI 60826).

5.2.3.2 Longueur de la tige

La longueur recommandée de la tige est de 1,0 m. Si toutefois l'accumulation risque de dépasser 15 cm de diamètre, comme c'est par exemple le cas avec la neige collante, la longueur de la tige doit être de 2,0 m. Une longueur de tige supérieure n'améliorera pas de manière significative la précision des mesures.

5.2.3.3 Caractéristiques de la tige

La tige doit être rigide en termes de torsion et de flexion. Pour la mesure de la charge causée par le verglas, le brouillard givrant et l'accumulation de neige sèche, la tige peut être un cylindre lisse. Pour les accumulations de neige collante, il est préférable que la tige soit toronnée car la formation d'un manchon de neige cylindrique peut être très différente pour les cylindres lisses, comparé aux conducteurs toronnés.

5.2.3.4 Orientation des tiges

Une paire de tiges doit être installée horizontalement, l'une perpendiculaire, l'autre parallèle à la direction des vents dominants au cours des événements de givrage.

L'exigence sera également satisfaite par une tige montée sur un râtelier rotatif, pouvant s'orienter pour faire face à la direction du vent.

Lorsque les événements de givrage sont limités à ceux causés par la formation sèche de brouillard givrant dans lequel le sens du vent est relativement constant, une tige unique installée verticalement peut suffire.

5.2.3.5 Hauteur des tiges

La hauteur des tiges doit être de 5 m au-dessus de la surface de la neige la plus haute sur le site donné. Bien que la CEI 60826 fasse référence à la charge de givre de base mesurée à 10 m au-dessus du sol, on utilise la valeur de 5 m dans le présent rapport pour des raisons pratiques. La hauteur du dispositif de mesure passive de la glace peut être de 1,5 m au-dessus du niveau du sol lors de la mesure de pluie verglaçante (voir annexe C). Pour la pluie verglaçante, les valeurs mesurées peuvent être utilisées directement. Pour le brouillard givrant et la neige collante, les valeurs mesurées doivent être multipliées par un facteur afin de donner la charge de givre de base. Si aucune autre information n'est disponible, se reporter à la CEI 60826.

Sur terrain accidenté, la charge de givre est considérablement influencée par les effets d'abri du micro-terrain local. A certains endroits, le givre ne s'accumule pas sur les tiges installées à des hauteurs de 5 m, tandis qu'on peut observer une charge de givre importante sur des tiges installées à des hauteurs de 10 m. Pour cette raison, il est utile de consulter des experts des problèmes de givrage lors du choix de la hauteur des tiges.

5.2.3 Minimum recommendations

In this subclause, the construction and installation methods of simple, standardized ice load measurement rods are described. Measurements can be done manually or automatically. The basic types of construction and some guidelines for installing rigs are described. The dimensions of some special instruments could be different from the recommended values in this report. Some examples of constructions for automatic measuring devices are shown in annex A.

5.2.3.1 Diameter of rod

The diameter of the rod shall be 30 mm (as specified in IEC 60826).

5.2.3.2 Length of rod

The recommended length of the rod is 1,0 m. If, however, the accretion is expected to exceed 15 cm in diameter, as for example in the case of wet snow, the rod length shall be 2,0 m. A greater rod length will not significantly improve measurement accuracy.

5.2.3.3 Characteristics of rod

The rod shall be rigid in respect of torsion and bending. When measuring the load caused by glaze, in-cloud icing and dry snow accretion, the rod may be a smooth cylinder. For wet snow accretions it is preferable that the rod is stranded because the growth of a cylindrical snow sleeve can be significantly different for smooth cylinders as compared with stranded conductors.

5.2.3.4 Rod orientation

A pair of rods shall be installed horizontally, one rod perpendicular to and the other parallel to the expected prevailing wind during icing events.

The requirement will also be met by one rod mounted on a rotatable rack, capable of orientating itself to face the wind direction.

Where icing events are limited to those caused by the dry growth of in-cloud icing in which the wind direction is relatively constant, a single rod installed vertically may be sufficient.

5.2.3.5 Height of rods

The height of rods shall be 5 m above the expected highest snow surface at the sites. Although IEC 60826 refers to the basic ice load measured at 10 m above ground, 5 m is used in this report for practical reasons. The height of a passive ice meter can be at 1.5 m above ground level when measuring freezing rain (see annex C). For freezing rain, the measured values can be used directly. For in-cloud icing and wet snow, the measured values shall be multiplied by a factor to give the basic ice load. If no other information is available, refer to IEC 60826.

In complicated terrain, the ice load is significantly influenced by the sheltering effects of the local micro-terrain. In some locations, no ice accretes on rods installed at heights of 5 m, whereas a large iceload may be observed on rods installed at heights of 10 m. For this reason it is useful to consult experts on icing problems when selecting the height of rods.

5.2.4 Tiges pour recherches supplémentaires

On trouvera ci-dessous des recommandations concernant les recherches supplémentaires. Il convient de noter que lorsque des tiges supplémentaires sont employées, elles doivent être installées de telle manière que leurs accumulations de givre n'interfèrent pas les unes avec les autres ou avec le système de support. De même, le givre déchargé d'une tige ne doit pas affecter d'autres tiges.

5.2.4.1 Tiges supplémentaires du même diamètre

Lorsque des mesures de charge de givre ou de densité du givre sont faites par des techniques conduisant à la destruction de l'accumulation de givre, des tiges supplémentaires permettent d'effectuer un certain nombre de mesures au cours d'événements de givrage continus (voir 5.2.6.1.1).

5.2.4.2 Tiges de diamètres divers

La CEI 60826 spécifie un diamètre de tige standard de 30 mm et un coefficient de correction K_d permettant de définir différentes tailles de conducteurs. Si aucune autre information n'est disponible, se reporter à la CEI 60826 où des valeurs de K_d recouvrant les diamètres de 10 mm à 60 mm sont fournis figure 14.

Les mesures de charge de givre sur des tiges recouvrant une gamme de diamètres sont utiles pour la vérification et l'affinage de ces données K_d .

5.2.4.3 Tiges placées à des hauteurs diverses au-dessus de la surface de la neige

Les charges de givres causées par le brouillard givrant en régions montagneuses sont très dépendantes de la hauteur d'exposition du fait que non seulement la vitesse du vent mais également la teneur en eau liquide dans l'air varient avec la hauteur. Contrairement à la figure 15 de la CEI 60826, certaines formes de givrage par précipitation peuvent également dépendre de la vitesse du vent et donc de la hauteur au-dessus du sol.

Le présent rapport spécifie une hauteur d'exposition de 5 m au-dessus de la surface de la neige. En outre, il convient de prendre garde en ce qui concerne l'effet d'abri du micro-terrain local. Dans les situations normales, cette hauteur d'exposition de 5 m est satisfaisante, mais pour des informations plus précises, il est recommandé d'étudier l'effet du micro-terrain comme indiqué en 5.2.3.5 par l'installation de tiges à diverses hauteurs.

5.2.4.4 Tiges rotatives

Les moments dus aux forces de gravitation et aérodynamiques sur la forme du givre peuvent causer la torsion d'un conducteur de ligne aérienne d'une portée réelle, en fonction de la rigidité en torsion du conducteur. A proximité des extrémités de la portée, la rigidité est élevée et il s'y produit une faible torsion, mais la rigidité décroît vers le centre de la portée. La forme du givre change donc en général le long de la portée. Il en résulte que le poids de givre accumulé sur les portées réelles diffère de ceux accumulés sur des tiges rigides.

Dans le but de minimiser les coûts, le présent rapport recommande l'utilisation de tiges rigides simples. On suggère d'autre part de corriger les résultats du fait de l'effet de la rigidité en torsion, sur la base des résultats des modèles de givrage et des observations faites sur des lignes d'essai.

Toutefois, les mesures de charge de givre sur des tiges en rotation libre ou sur des tiges équipées d'un système de ressort simulant la rigidité en torsion de la partie centrale des portées réelles, sont précieuses pour vérifier et améliorer les coefficients de correction. Si en outre elles sont installées sur des sites qui comportent des portées d'essai, des comparaisons directes peuvent être faites.

5.2.4 Rods for additional investigations

Recommendations are given below for carrying out additional investigations. It should be noted that, where additional rods are employed, they shall be installed such that their ice accretions do not interfere with each other or with the support system. Similarly, ice shed from one rod must not affect other rods.

5.2.4.1 Additional rods of the same diameter

Where ice load or ice density measurements are made by techniques which lead to the destruction of the ice accretion, additional rods offer the opportunity to make a number of such measurements during continuing icing events (see 5.2.6.1.1).

5.2.4.2 Rods of various diameters

In IEC 60826, a standard rod diameter of 30 mm is specified and a correction coefficient, K_d , to allow for different conductor sizes is defined. If no other information is available, refer to IEC 60826 where values for K_d covering diameters from 10 mm to 60 mm are provided in figure 14.

Ice load measurements on rods covering a range of diameters are valuable for verification and refinement of these K_d data.

5.2.4.3 Rods at various heights above snow surface

Ice loads for in-cloud icing in mountainous regions are strongly dependent on exposure height because not only the wind speed but also the liquid water content in the air varies with height. In contrast to figure 15 of IEC 60826, some forms of precipitation icing can also be dependent on wind speed and therefore of height above ground.

In this report an exposure height of 5 m above the snow surface is specified. In addition, care should be taken with regard to the sheltering effect of the local micro-terrain. In normal cases, this exposure height of 5 m is satisfactory but, for more accurate information, the effect of micro-terrain should be studied, as noted in 5.2.3.5, by the installation of rods at varying heights.

5.2.4.4 Rotating rods

The moments due to gravitational and aerodynamic forces on the ice shape can cause an overhead line conductor in a real span to twist, depending on the local torsional stiffness of the conductor. Near the span ends the stiffness is high and little twisting occurs but the stiffness decreases towards the centre of the span: the ice shape therefore usually changes along the span. As a result, the weight of ice accreted on actual spans is different from that accreted on rigid rods.

In this report rigid simple rods are recommended in order to minimise costs and correction of the results for the effect of torsional rigidity is suggested, based on the results of icing models and observations on test lines.

However, ice load measurements on freely-rotating rods or on rods fitted with a spring system simulating the torsional rigidity of the centre portion of actual spans are valuable for further verifying and improving the correction coefficients. If, in addition, they are installed at sites where there are test spans, then direct comparisons can be made.

5.2.5 Caractéristiques des sites

Il convient que les sites où les tiges sont installées soient représentatifs d'un ensemble de tronçons de l'itinéraire de la ligne aérienne, en particulier en ce qui concerne la hauteur et l'exposition aux vents dominants pendant le givrage. C'est l'exigence principale. S'il est possible de combiner cette exigence avec un site où des informations météorologiques sont disponibles, il convient de le faire.

5.2.6 Procédures standard pour la mesure de la charge de givre sur des tiges simples

L'objet principal est de satisfaire aux exigences de la CEI 60826. A cette fin, les recommandations minimales de procédures de mesure sont données en 5.2.6.1. Des recommandations supplémentaires sont données en 5.2.6.2. pour obtenir des informations plus détaillées utiles au développement de modèles de givrage, d'une part, et pour améliorer la précision des mesures de charge de givre, d'autre part.

5.2.6.1 Recommandations minimales

Les valeurs requises par la CEI 60826 étant les charges de givre maximales annuelles, il suffit de mesurer manuellement la masse de givre accumulée sur les tiges par les procédures décrites ci-dessous.

5.2.6.1.1 Masse des tiges givrées

Il convient de mesurer la masse des tiges givrées immédiatement après chaque tempête et les tiges replacées sur le râtelier d'exposition. Il est recommandé d'adopter cette procédure afin d'éviter de manquer la mesure de la masse maximale, car le déchargement du givre peut se produire à la suite de la tempête. Toutefois, les tiges peuvent accumuler plus de givre, du fait de nouvelles tempêtes, avant que le déchargement du givre ne se soit produit. Si une méthode destructive est employée pour déterminer la masse de givre ou la densité du givre, il convient que le râtelier soit équipé de plus d'une paire de tiges afin de permettre l'enregistrement de la charge maximale absolue.

5.2.6.1.2 Indicateur de la charge maximale de givre

Du fait que le givre accumulé sur les tiges peut se décharger, il peut être difficile de déterminer à quel moment la masse de givre doit être mesurée. De ce point de vue, il est préférable d'utiliser un indicateur de charge maximale de givre même si les mesures sont effectuées manuellement.

5.2.6.1.3 Mesure automatisée de la charge de givre

Si les mesures manuelles peuvent manquer la charge maximale de givre, les techniques automatisées permettent d'éviter ce problème. De cette manière le déroulement de chaque événement de givrage peut également être enregistré.

Voir l'annexe C pour des exemples de tiges de mesure automatisée de la charge de givre.

5.2.6.1.4 Tolérances de mesure

Il convient que la tolérance cible pour la mesure de base soit de $\pm 10\%$ de la valeur mesurée. Dans tous les cas, il est recommandé de noter une estimation de la précision de mesure.

5.2.6.2 Recommandations supplémentaires

Chaque fois que possible, il convient qu'un ou plusieurs des paramètres suivants soient mesurés ou enregistrés manuellement ou automatiquement, en plus des mesures standard minimales.

5.2.6.2.1 Type de givrage

Il convient de spécifier le type de givrage (verglas, givre compact, givre léger, neige collante ou neige sèche).

5.2.5 Characteristics of sites

Sites where rods are installed should be representative of a range of sections of the overhead line route, especially with respect to height and exposure to prevailing winds during icing conditions. This is the primary requirement. If there is an opportunity to combine this with a site where meteorological information is available, then advantage should be taken of this.

5.2.6 Standard procedures for measuring ice load on simple rods

The main purpose is to meet the requirements of IEC 60826. To this end, the minimum recommendations for measuring procedures are given in 5.2.6.1. To obtain more detailed information useful for icing model development and also for the improvement of ice load measurement accuracy, some additional recommendations are given in 5.2.6.2.

5.2.6.1 Minimum recommendations

Since the values required in IEC 60826 are annual maximum ice loads, it is sufficient that the mass of ice accreted on the rods is measured manually by the procedures described below:

5.2.6.1.1 Mass of iced rods

The mass of the iced rods should be measured immediately following each storm and the rods should then be returned to the exposure rack. This procedure should be adopted in order to avoid missing the measurement of the maximum mass, since shedding of the ice may occur following the storm. However, rods may accrete more ice arising from new storms occurring before ice shedding has taken place. If a destructive method is employed to determine ice mass or ice density then the rack should have more than one pair of rods to allow the absolute maximum load to be recorded.

5.2.6.1.2 Maximum ice load indicator

Since ice accreted on rods may shed it can be difficult to judge when the ice mass should be measured. From this point of view, it is preferable that some form of maximum ice load indicator is provided even if the measurements are obtained manually.

5.2.6.1.3 Automated ice load measurement

Manual measurements can miss the maximum ice load, whereas automated techniques can avoid this problem. In this way the development of each icing event can also be recorded.

Examples of automated ice load measuring rods are described in annex C.

5.2.6.1.4 Measurement tolerance

The target tolerance for the basic measurement should be $\pm 10\%$ of the measured value. In all cases an estimate of the measurement accuracy should be noted.

5.2.6.2 Additional recommendations

Where feasible, one or more of the following items should be measured or recorded manually or automatically, in addition to the minimum standard measurements.

5.2.6.2.1 Type of icing

The type of icing (glaze, hard rime, soft rime, wet snow or dry snow) should be specified.

5.2.6.2.2 Forme du givre

Il convient d'enregistrer la forme de l'accumulation de givre.

5.2.6.2.3 Dimensions de l'accumulation de givre

Il convient de mesurer le grand et le petit diamètre d'une section représentative de l'accumulation de givre. Il convient de noter l'orientation de l'axe principal.

5.2.6.2.4 Processus d'accumulation

Il convient que l'historique du processus d'accumulation du givre soit enregistré si possible.

5.2.6.2.5 Densité du givre

Il convient de mesurer la densité moyenne du givre.

5.2.6.2.6 Hauteur des tiges

Il convient que des mesures précises de la hauteur des tiges au-dessus de la surface de la neige soient effectuées.

5.2.6.3 Mesures des paramètres météorologiques concernés

Chaque fois que possible, Il convient que les paramètres météorologiques correspondants soient mesurés ou enregistrés.

5.2.7 Formation des observateurs

La formation des observateurs est indispensable à l'obtention de mesures et d'observations de bonne qualité. Des bandes vidéo et des photographies de phénomènes de givrage typiques et de procédures de mesure peuvent constituer une aide précieuse.

5.3 Portées d'essai

Il convient qu'une portée d'essai soit implantée sur un site exposé de manière appropriée. Elle peut être composée d'une portée ou plus. Des capteurs d'efforts/dynamomètres peuvent être connectés à une ou aux deux extrémités de la ligne. S'il existe plus d'une portée, un support intermédiaire peut être utilisé pour mesurer la charge de givre verticale au moyen de capteurs d'efforts suspendus. Dans le cas des systèmes à portée unique, des mesures spéciales sont requises pour distinguer les effets de la charge de givre de ceux de la température et du vent sur la tension du conducteur. Il convient de spécifier tous les capteurs d'efforts de manière à fonctionner dans les conditions météorologiques prévues.

La longueur et la hauteur de la ligne sont déterminées par les objectifs de l'installation du site. Le nombre et le type de conducteurs installés sont également déterminés par l'objectif de l'installation du site. Différents conducteurs peuvent être employés sur la même portée pour des essais comparatifs.

Il convient idéalement, que le site d'essai soit instrumenté afin de fournir une partie des données météorologiques de base spécifiées en 4.2.1. Si des données de vitesse du vent continues et précises sont requises, l'utilisation d'anémomètres chauffés doit être envisagée. En outre, des instruments destinés à des données météorologiques spéciales peuvent être installées comme décrit en 5.2.2.

Le site de la portée d'essai peut être surveillé manuellement ou automatiquement. Si l'on utilise l'exploitation automatique, un moyen de contrôle du bon fonctionnement des instruments peut être employé, comme par exemple le transfert de données par téléphone. La surveillance vidéo de la portée d'essai peut être utilisée et des systèmes de télémétrie employés pour contrôler le site et le fonctionnement des instruments.

5.2.6.2.2 Shape of ice

The shape of the ice accretion should be recorded.

5.2.6.2.3 Dimensions of ice accretion

The major and minor diameters of a representative cross-section of the ice accretion should be measured. The orientation of the major axis should be recorded.

5.2.6.2.4 Accretion process

The time history of the accretion process of the ice should be recorded if possible.

5.2.6.2.5 Density of ice

The average density of the ice should be measured.

5.2.6.2.6 Height of rods

Accurate measurements of the height of the rods above the snow surface should be made.

5.2.6.3 Measurements of meteorological parameters concerned

Where feasible, the relevant meteorological parameters should be measured or recorded.

5.2.7 Training of observers

The training of observers is essential to obtain effective measurements and observations. For this purpose video-tapes and photographs of typical icing phenomena and measurement procedures may provide valuable assistance.

5.3 Test spans

A test span should be located in a suitably exposed site and can consist of one or more spans. Load cells/dynamometers can be connected at one or both ends of the line. If there is more than one span, then an intermediate support can be used to measure the vertical ice load by means of suspended load cells. In the case of single span systems, special measures are required to distinguish the effect of ice load from those of temperature and wind on conductor tension. All load cells should be specified to operate under the anticipated weather conditions.

The length and height of the line is determined by the objectives of the site installation. The number and type of conductors strung up is also determined by the objective of the site installation. Different conductors can be employed on the same span for comparative tests.

Ideally, the test site should have instrumentation to provide some of the most relevant basic meteorological data as specified in 4.2.1. If continuous, accurate wind speed data are required, the use of heated anemometers should be considered. In addition, instrumentation for special meteorological data can be installed as described in 5.2.2.

The test span site can be monitored manually or automatically. If automatic operation is used, then a facility to check on the instrument performance could be employed, for example telephone data transfer. Video monitoring of the test span can be used and telemetry systems employed to check on the site and instrument performance.

Voir l'annexe D pour des exemples de portées d'essai. Ces exemples sont extraits des questionnaires et articles présentés aux Congrès internationaux sur le givrage atmosphérique des structures.

5.4 Procédures recommandées

Les données météorologiques ordinaires sont de la responsabilité des instituts météorologiques officiels, mais des données sur le givrage atmosphérique utiles à la conception et à l'exploitation des lignes aériennes sont en général de la responsabilité des compagnies d'électricité. (Dans certains cas, les autorités des télécommunications ou autres peuvent avoir des intérêts similaires.)

Pour cette raison, il est primordial que les compagnies d'électricité prennent en compte les besoins futurs en matière de données météorologiques. Même combiné aux modèles, le délai d'obtention de données de conception fiables peut être de 10 ans ou plus, en raison de la grande variabilité des événements de givrage.

Du fait que les conditions de givrage varient fortement d'un pays à l'autre, les recommandations qui peuvent être données sont générales et limitées aux plus importantes.

- Les méthodes et l'étendue des mesures (voir articles précédents) dépendent du retour sur investissement prévu résultant de variations marginales de la charge de givre.
- Il convient que les mesures de la charge de givre soient, de préférence, effectuées en étroite collaboration avec l'IM compétent. Une telle coopération permettra le choix optimal des lieux d'observation et des paramètres observés. Il convient de choisir les instruments d'observation avec soin afin de minimiser les erreurs pendant le givrage.

6 Modèles de givrage

6.1 Introduction

L'objet du présent article est de fournir des indications et des recommandations aux utilisateurs, conformément aux exigences de la CEI 60826, pour leur permettre de choisir, de mettre en oeuvre et de vérifier la précision de modèles de givrage pour l'estimation des charges de givre et des charges «vent sur givre» sur les lignes aériennes.

6.2 Types de modèles de givrage

Un modèle de givrage est un outil permettant de prédire l'accumulation de neige et de givre sur les structures à partir de données climatologiques. Le choix de modèles de givrage dépend des processus de givrage décrits en 3.2.1. Ces processus sont le verglas, le givre et la neige collante et sèche.

6.2.1 Modèles de givrage empiriques et déterministes

La structure des modèles de givrage va de l'empirique au déterministe.

Les modèles empiriques sont en général développés à partir d'une base de données climatologiques et de mesures de charge de givre sur les lignes aériennes, ou à partir de mesures spéciales. Souvent, ils ne décrivent pas de manière explicite les processus physiques qui se produisent au cours du givrage. Ils relient simplement les charges de givre aux données climatologiques en termes mathématiques. De ce fait, les modèles empiriques ne représentent que les charges de givre qui se sont produites dans la plage de conditions dans laquelle les mesures ont été faites, sur les objets spécifiques sur lesquels les charges de givre ont été mesurées, et aux emplacements spécifiques où les mesures ont été faites. De ce fait, il convient que les modèles empiriques ne soient en général pas appliqués dans des conditions, à des objets ou à des emplacements autres que ceux à partir desquels ils ont été créés.

Some examples of test spans are given in the annex D. These were extracted from questionnaires and papers presented at the International Workshops on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS).

5.4 Recommended procedures

While ordinary meteorological data are the responsibility of official meteorological institutions, relevant data on atmospheric icing for overhead line design and operation are usually the responsibility of the electrical utilities. (In some cases telecommunication authorities, or others, may have similar interests.)

For this reason it is of vital importance that the utilities consider the future needs for such data. Even in combination with models, the time horizon for obtaining reliable design data may be 10 years or more, as a result of the high variability of icing events.

Since the icing conditions vary strongly between countries, the recommendations that can be given are general and limited to the most important.

- The methods and extent of measurements (see preceding clauses) should depend on the expected payback for marginal variations of the ice load.
- Ice load measurements should preferably be implemented in close cooperation with the relevant MI. Such cooperation will allow for optimal selection of observation locations and observed parameters. Observation instruments should be selected carefully to minimize errors during icing conditions.

6 Icing models

6.1 Introduction

The purpose of this clause is to provide guidelines and recommendations for users, as required by IEC 60826, to choose, apply and verify the accuracy of icing models for estimating ice loads and wind-on-ice loads on overhead lines.

6.2 Types of icing models

An icing model is a tool to predict snow and ice accretion on structures using climatological data. The selection of icing models is dependent upon icing processes as described in 3.2.1. These processes are glaze, rime and wet and dry snow.

6.2.1 Empirical and deterministic icing models

Icing models may range from empirical to deterministic in their structure.

Empirical models are usually developed from a database of climatological data and measurements of ice loading on overhead lines, or from special measurements. They often do not explicitly describe the physical processes occurring during icing; instead they simply mathematically relate ice loads to climatological data. As a result, empirical models represent only ice loads that occurred within the range of conditions within which the measurements were made, on the specific objects upon which ice loads were measured, and at the specific locations where the measurements were made. Therefore, empirical models should not, in general, be applied in conditions, or to objects or locations, other than those from which they were created.

Les modèles déterministes décrivent plus complètement les processus aérodynamiques, thermodynamiques et autres processus physiques qui se produisent au cours du chargement de givre. Ces modèles ayant pour vocation de fournir une description physique vraie du processus de givrage, ils sont souvent dépendants du temps; aussi, des données climatologiques plus détaillées sont souvent requises. Toutefois, les paramètres d'entrée indispensables tels que la teneur en eau liquide et la taille des gouttelettes ne sont en général pas disponibles dans les bases de données climatologiques. En outre, des éléments des modèles déterministes peuvent être déduites de relations empiriques et sont donc sujets à certaines des restrictions associées aux modèles empiriques.

La modélisation de la charge de givre est encore au stade du développement. Il convient que tous les modèles de givrage, qu'ils soient empiriques ou déterministes, soient étalonnés pour les structures, conditions climatologiques et lieux topographiques spécifiques où ils doivent être utilisés. On recommande de s'assurer la collaboration d'un météorologue ou d'une personne connaissant bien le givrage pour l'application des modèles.

6.2.2 Données climatologiques utilisées dans les modèles de givrage

Les données climatologiques de bases requises pour modéliser un processus de givrage dépendent du type d'accumulation et peuvent comprendre:

- a) la vitesse et la direction du vent,
- b) la température de l'air,
- c) le taux de précipitation,
- d) la teneur en eau liquide,
- e) la taille des gouttelettes,
- f) l'humidité relative de l'air,
- g) la pression de l'air,
- h) la visibilité.

Dans les enregistrements climatologiques standard disponibles auprès des instituts météorologiques, certains des paramètres tels que la teneur en eau liquide et la taille des gouttelettes ne sont pas disponibles. Des événements de givrage bien documentés sont requis afin d'appliquer et d'étalonner les modèles de givrage.

Il faut savoir que la précision de la prévision de charge de givre dépend de la qualité des données climatologiques utilisées comme données d'entrée des modèles. En outre, il convient que les données climatologiques soient représentatives du site pour lequel les prévisions de charges de givre sont faites. Les données climatologiques issues de sites distants du site de la prévision de charge, en particulier dans les régions à topographie diverse et complexe, peuvent causer d'importantes erreurs dans la prévision des charges.

L'article 4 décrit en détail les procédures d'observation et de mesure des données utilisées dans les modèles de givrage.

6.2.3 Application des modèles de givrage

Il existe plusieurs modèles qui permettent de prédire les principaux types de givrage décrits en 3.2.1. Certains programmes de calcul contiennent des modèles qui permettent de simuler les trois types de givrage, tandis que d'autres ne s'appliquent qu'à un seul des processus. Les modèles nécessitent une partie ou la totalité des données climatologiques énumérées en 6.2.2.

Certains exemples sélectionnés des modèles de givrage existants sont énumérés dans l'annexe E qui précise les grandes lignes de l'approche et les données d'entrée et de sortie. L'annexe F contient un exemple de l'évaluation de certains des modèles de givrage effectuée au Canada. L'annexe G décrit de manière assez détaillée les concepts de base de modèles de givrage. On trouvera à l'annexe H une bibliographie des modèles de givrage existants. Plusieurs pays, dont le Canada, la Norvège, le Royaume-Uni, la France et le Japon utilisent des modèles de givrage pour estimer les données de givre et de «vent sur givre» pour la conception des lignes aériennes, conjointement avec des enregistrements climatologiques historiques.

Deterministic models describe more completely the aerodynamic, thermodynamic and other physical processes occurring during ice loading. Since these models attempt to provide a true physical description of the icing process, they are often time-dependent and more detailed climatological data are often required. However, essential input parameters such as liquid water content and droplet size are, in general, not available from a climatological database. In addition, elements of deterministic models may be derived from empirical relationships and thus are subject to some of the restrictions associated with empirical models.

Ice load modelling is still in the developmental stage. All icing models, whether empirical or deterministic, should be calibrated for the specific structures, climatological conditions and topographic locations of their intended use. It is recommended that a meteorologist or someone who is knowledgeable about icing assists when applying models.

6.2.2 Climatological data used in icing models

The basic climatological data required to model an icing process depend on the accretion type and may include:

- a) wind speed and direction,
- b) air temperature,
- c) precipitation rate,
- d) liquid water content,
- e) droplet size,
- f) relative air humidity,
- g) air pressure,
- h) visibility.

In the standard climatological records available from meteorological institutions, some of the parameters such as liquid water content and droplet size are not readily available. Well-documented icing events are required in order to apply and calibrate the icing models.

It is important to appreciate that the accuracy of the ice load predictions depends upon the quality of climatological data used as input into the models. In addition, the climatological data should represent the site for which ice loads are being predicted. Climatological data from locations distant from the location of load prediction, especially in regions of diverse and complex topography, may produce large errors in predicted loads.

In clause 4, the observation and measurement procedures for data used in icing models are described in detail.

6.2.3 Application of icing models

Several models are available to predict the main types of icing, as described in 3.2.1. Some computational programs contain models to simulate all three types of icing, while others apply to only one of the processes. The models require some or all of the climatological data listed in 6.2.2.

Some selected examples of available icing models are listed in annex E, giving the outline of the approach, the input and the output data. An example of the evaluation of some of these icing models carried out in Canada is given in annex F. In annex G, basic concepts of icing models are described in some detail. A bibliography of available icing models is provided in annex H. Several countries including Canada, Norway, United Kingdom, France and Japan are using icing models to estimate ice and wind-on-ice data for overhead line design in conjunction with historical climatological records.

Les indications qui suivent ont pour objet d'aider au choix des modèles de givrage et des données climatologiques pour l'estimation des charges de givre et «vent sur givre» pour la conception des lignes aériennes:

- a) A partir de l'expérience antérieure et des données climatologiques disponibles, évaluer les types d'accumulation de givre susceptibles de se produire le long de l'itinéraire de la ligne à l'étude.
- b) Choisir le ou les modèles de givrage appropriés pour estimer les quantités d'accumulation de givre/neige sur les lignes aériennes le long de l'itinéraire de la ligne.
- c) Utiliser les enregistrements climatologiques des stations météorologiques situées à proximité de l'itinéraire de la ligne afin d'établir une base de données.

Noter qu'il convient de sélectionner les données climatologiques avec grand soin afin de réduire au minimum les erreurs sur les prédictions de valeurs d'accumulation de givre. La fiabilité de la prévision augmente avec la longueur des enregistrements de données climatologiques et la fréquence des événements de givrage. Toutefois, il faut corrélérer avec grand soin les données issues des stations météorologiques avec l'itinéraire effectif de la ligne.

- d) Faire tourner les programmes informatiques pour le ou les modèles de givrage afin d'estimer les valeurs de givre et de «vent sur givre» pour diverses périodes de retour le long de l'itinéraire de la ligne. Si possible, comparer les prévisions avec les mesures sur site le long de l'itinéraire de la ligne. La charge cumulée au cours de plusieurs tempêtes ne peut être prédite avec précision par les modèles que si aucun déchargement de givre ne se produit entre les tempêtes.
- e) Il convient que les valeurs de givre et de «vent sur givre» estimées soient ajustées de manière appropriée afin de prendre en compte les changements inhabituels du terrain et autres caractéristiques spécifiques associées à l'itinéraire de la ligne comme par exemple les vallées, les collines, etc. A cet égard, il existe des méthodes qui permettent d'évaluer les effets du terrain sur la vitesse du vent.

Il convient de poursuivre les efforts en vue de la validation des modèles de givrage basée sur des événements de givrage réels recouvrant une large plage de conditions climatologiques produisant des quantités de charge de givre variables. Pour réaliser cet objectif à long terme, les étapes suivantes sont recommandées.

- 1) Sélectionner un ensemble d'instruments approprié pour recueillir les données nécessaires sur le terrain pour la validation des modèles.
- 2) Etablir les sites d'essai en des points clés.
- 3) Recueillir des données sur les sites d'essai sur une période d'au moins quatre à cinq ans et établir une base de données pour l'évaluation des modèles de givrage.

The following guidelines are to assist in choosing icing models and climatological data for estimating ice and wind-on-ice loads for overhead line design:

- a) From past experience and available climatological data, assess the ice accretion types that are likely to occur along the line route under consideration.
- b) Choose the appropriate icing model(s) to estimate the ice/snow accretion amounts on overhead lines along the line route.
- c) Use climatological records from meteorological stations near the line route to establish a database.

Note that care should be taken in the selection and screening of climatological data to minimize the error in the predicted ice accretion values. The reliability of prediction increases as the length of the climatological data records and the frequency of icing events increase. However, care shall be taken in correlating data from meteorological stations to the actual line route.

- d) Run the selected computer programs for the icing model(s) to estimate the ice and wind-on-ice values for various return periods along the line route. If possible, compare predictions with field measurements along the line route. Accumulated load through several storms can only be predicted accurately by models if no ice is shed from lines between storms.
- e) The estimated ice and wind-on-ice values should be adjusted appropriately to account for unusual terrain changes and other unique features associated with the line route, such as valleys, hills etc. In this connection some methods are available to assess the effects of terrain on wind speed.

Efforts should continue for further validation of icing models based on actual icing events covering a wide range of climatic conditions resulting in varying amounts of ice load. To achieve this long term objective, the following steps are recommended:

- 1) Select a suitable instrument package to collect the necessary field data for validating the models.
- 2) Establish test sites in key locations.
- 3) Gather data from the test sites for a period of at least four to five years and set up a database for evaluating the icing models.

Annexe A (informative)

Vue d'ensemble des paramètres météorologiques prescrits par la CEI 60826

Les articles 3.2, 3.3 et 3.4 de la CEI 60826 montrent combien il est indispensable de disposer de données météorologiques. Pour des raisons de commodité, la présente annexe donne une vue d'ensemble des paramètres en question.

Les paramètres introduits dans l'article 3.2 sont listés dans le tableau A.1. On suppose que le paramètre appelé «vitesse météorologique du vent» est fourni directement par des mesures spécifiques. Il s'agit d'une vitesse moyenne du vent sur 10 min. Tous les autres paramètres introduits concernant le vent (V_m , V_M et V_r , voir tableau A.1) sont dérivés du paramètre précédent et représentent donc également des vitesses moyennes du vent sur 10 min. La vitesse du vent de rafale ou la turbulence ne sont pas utilisées en tant que telles. Toutefois, le coefficient K_R représentant la rugosité du terrain de quatre catégories de terrain différentes est introduit et joue un rôle important. Il est utilisé pour convertir la vitesse moyenne du vent d'une catégorie de terrain à une autre. Il donne implicitement la variation du vent en fonction de la hauteur au-dessus du sol. L'effet de la turbulence est pris en compte par ce qu'on appelle le facteur de vent G , pour le calcul de la force du vent sur différents composants de la ligne. Le facteur de vent comprenant également d'autres effets (météorologiques et structuraux), il prend des valeurs différentes en fonction des composants de la ligne (respectivement G_c , G_i et G_t pour les conducteurs, isolateurs et pylônes).

Deux paramètres de température sont introduits dans la CEI 60826 (voir tableau A.1). Ce sont dans les deux cas des températures minimales, mais des extrêmes spécifiés différemment. Le paramètre de base, la température variant dans le temps, n'est pas introduit dans la CEI 60826, mais il y est fait référence implicitement.

Les paramètres introduits dans l'article 3.3 de la CEI 60826 sont listés dans le tableau A.2. Ils représentent tous la charge de givre sous la forme de sélections ou de dérivés en ce sens qu'aucun d'entre eux n'est un paramètre dépendant du temps pour la charge de givre. Toutefois, la charge de givre maximale annuelle g et la charge de givre maximale au cours de plusieurs années, g_{max} , pourraient être des quantités mesurées directement.

En ce qui concerne l'article 3.4 de la CEI 60826, aucun nouvel élément météorologique n'est introduit.

Annex A (informative)

Overview of weather parameters required by IEC 60826

The need for meteorological data is apparent from clauses 3.2, 3.3 and 3.4 of IEC 60826. For convenience an overview of the parameters in question is given in this annex.

The parameters introduced in clause 3.2 are listed in table A.1. The so-called "meteorological wind velocity" is presumed to be available directly from specified measurements. This is a 10 min mean wind speed. All other parameters introduced in relation to wind (V_m , V_M and V_f , see table A.1) are derived from the former and therefore also represent 10 min mean speeds. Neither gust wind speed nor turbulence is used as such. However, the coefficient K_R representing ground roughness of four different terrain categories is introduced and plays an important role. It is used to convert mean wind speed from one terrain category to another; it gives implicitly wind variation with height above ground. The effect of turbulence is accounted for by a so-called wind factor, G , in calculating the wind force on different line components. Since the wind factor also includes other effects (meteorological and structural), it takes different values according to the line component (G_c , G_i and G_t for conductors, insulators and towers, respectively).

Two temperature parameters are introduced in IEC 60826 (see table A.1). They are both minimum temperatures, but differently specified extremes. The basic parameter, temperature varying with time, is not introduced in IEC 60826, but is referred to implicitly.

The parameters introduced in clause 3.3 of IEC 60826 are listed in table A.2. They all represent ice load in the form of selections or derivatives in the sense that none of them are time-dependent parameters for ice load. However, both yearly maximum ice load, g , and maximum ice load during several years, g_{max} , could be directly measured quantities.

Regarding clause 3.4 of IEC 60826, no new weather element is introduced.

Tableau A.1 – Paramètres météorologiques concernant les charges éoliennes et thermiques

Paramètre introduit	Symbole utilisé	Définition/détermination	Paragraphe de la CEI 60826
Vitesse météorologique du vent	V	Vitesse moyenne du vent sur une période de 10 min à un niveau de 10 m au-dessus du sol, en terrain relativement dégagé	3.2.3.2
Vitesse maximale du vent sur une année	V_m	Valeur maximale de V mesurée sur un an	3.2.3.3
Vitesse de grand vent en fonction du niveau de fiabilité	V_M	La vitesse de grand vent V_M est déterminée à partir de la valeur moyenne $\bar{V}_m$ des vitesses maximales sur une année V_m et de l'écart type σV_m de la distribution statistique des vitesses	3.2.4.1.1
Vitesse de référence du vent	V_R	Vitesse du vent sur le site de la ligne	3.2.4.1.2
Température coïncidente	–	Température de l'air égale à la moyenne annuelle des températures quotidiennes minimales spécifiques à ce site	3.2.4.1.4
Température minimale	–	La température minimale doit être considérée égale à la valeur minimale annuelle, avec une probabilité d'apparition de 2 % ou une période de retour de 50 ans	3.2.4.2.1.
Vitesse de vent réduit	–	Vitesse de référence du vent V_R multipliée par un coefficient choisi en fonction des conditions météorologiques locales	3.2.4.2.2
Turbulence du vent	–	Aucune définition, mais mentionné comme contribution au facteur de vent combiné G_c	3.2.6.1.1
Facteur de vent combiné	G_c	Tient compte de la turbulence du vent, de la variation selon la hauteur et de la réponse dynamique du conducteur	3.2.6.1.1

Tableau A.2 – Paramètres météorologiques relatifs aux charges de givre

Paramètre introduit	Symbole utilisé	Définition/détermination	Paragraphe de la CEI 60826
Surcharge annuelle maximale de givre	g	Charge de givre maximale annuelle mesurée (ou estimée au moyen d'un modèle de givrage) au cours d'une période d'au moins 10 ans	3.3.1.2.2 (3.3.1.2.4)
Valeur moyenne	$\bar{g}$	Moyenne calculée des valeurs maximales annuelles g de givre au cours de la période concernée	3.3.1.2.2
Ecart type	σ_g	Ecart type calculé ou estimé	3.3.1.2.2
Surcharge maximale de givre	$g_{\max}$	Valeur maximale de la charge de givre au cours d'un certain nombre d'années	3.3.1.2.3
Surcharge de référence pour le calcul	g_R	Fonction du niveau de fiabilité ainsi que de $\bar{g}$, σ_g , du nombre d'années d'observation, du diamètre du conducteur et de la hauteur moyenne du conducteur au-dessus du sol	3.3.1.3

Table A.1 – Meteorological parameters related to wind and thermal loads

Parameter as introduced	Symbol used	Definition/determination	IEC 60826 subclause
Meteorological wind velocity	V	Average velocity of the wind during a 10 min period at a level of 10 m above the ground, in relatively open country	3.2.3.2
Maximum yearly wind velocity	V_m	The maximum of V measured over a year	3.2.3.3
High wind velocity depending upon the reliability level	V_M	The high wind velocity V_M is determined from the average $\bar{V}_m$ of the maximum yearly velocities, V_m and the standard deviation σV_m of the statistical distribution of the velocities	3.2.4.1.1
Reference wind velocity	V_R	The wind velocity at the site of the line	3.2.4.1.2
Coincident temperature	–	An air temperature equal to the annual average of the minimum daily temperatures peculiar to the site.	3.2.4.1.4
Minimum temperature	–	The minimum temperature shall be considered as being equal to the minimum yearly value, having a probability of occurrence of 2 % or a return period of 50 years	3.2.4.2.1
Reduced wind velocity	–	Reference wind velocity V_R multiplied by a coefficient chosen according to local meteorological conditions	3.2.4.2.2
Turbulence of the wind	–	No definition, but mentioned as a contribution to the combined wind factor, G_c	3.2.6.1.1
Combined wind factor	G_c	Takes into account the turbulence of the wind, height variation and the dynamic response of the conductor	3.2.6.1.1

Table A.2 – Meteorological parameters related to ice loads

Parameter as introduced	Symbol used	Definition/determination	IEC 60826 subclause
Yearly maximum ice load	g	Yearly maximum ice load measured (or estimated by means of an icing model) during a period of at least 10 years	3.3.1.2.2 (3.3.1.2.4)
Mean value	$\bar{g}$	Calculated mean of the yearly maximum values, g , of ice during the period concerned	3.3.1.2.2
Standard deviation.	σ_g	Calculated or estimated standard deviation	3.3.1.2.2
Maximum ice load.	$g_{\max}$	Maximum value of ice load during a certain number of years	3.3.1.2.3
Reference design load	g_R	Function of the reliability level as well as, $\bar{g}$, σ_g , number of years of observations, conductor diameter and average height of conductor above ground	3.3.1.3

Annexe B (informative)

Présentation générale des termes météorologiques, des programmes de traitement des données et des modèles de prévision

B.1 Eléments météorologiques et paramètres météorologiques

La présente annexe présente la terminologie en mettant l'accent sur les différences entre ce qu'on appelle éléments météorologiques et paramètres météorologiques.

Définitions

élément météorologique: Propriété physique par laquelle une partie de la condition atmosphérique est décrite. Des exemples d'éléments météorologiques sont énumérés en 4.2.3.

paramètre météorologique: Grandeur physique, obtenue par mesures ou observations, par laquelle est décrit un élément météorologique donné. Par exemple, l'élément «température de l'air» peut être décrit par différents paramètres comme par exemple:

- la température à une heure donnée,
- la température quotidienne maximale,
- la température moyenne mensuelle,
- la normale saisonnière de la température quotidienne moyenne,
- etc.

Le tableau B.1 liste les concepts les plus courants.

Annex B (informative)

Overview of meteorological terms, data handling programmes and forecasting models

B.1 Weather elements and weather parameters

In this annex some terminology is discussed with emphasis on the differences between what are called weather elements and weather parameters.

Definitions

weather element: A physical property by which one part of the atmospheric condition is described. Examples of such weather elements are listed in 4.2.3.

weather parameter: A physical magnitude, derived by measurements or observations, by which a certain weather element is described. For example, the element "air temperature" may be described by different parameters such as:

- temperature at a certain hour,
- daily maximum temperature,
- monthly average temperature,
- standard normal for daily mean temperature,
- etc.

The most common concepts are given in table B.1.

Tableau B.1 – Eléments météorologiques et paramètres météorologiques

Elément	Paramètres		Unité	Instrument	Remarques
	mesuré/observé	dérivé			
Pression de l'air	Pression à la station	Pression au niveau de la mer	mmHg pouces de mercure millibar (mbar) hectoPascal (hPa)	Baromètre	Les pressions au niveau de la mer sont celles les plus souvent indiquées
Vent	<i>Vitesse du vent:</i> Vitesse instantanée («rafale») Vitesse maximale des rafales (sur une période de temps, 10 min, 1 h,...) Vitesse moyenne sur 10 min Distance du vent dans un temps spécifié <i>Direction du vent</i> Direction du vent associée à la vitesse du vent simultané	Vitesse moyennes (1 min – 1 h) Vitesse moyenne maximale du vent au cours d'une période de temps (1 h, une tempête) Pression du vent Turbulence: – intensité de la turbulence – rapports de rafale Gradient en fonction de la hauteur Corrélation croisée Spectre de vent, etc. Rose des vents (statistiques de vitesse du vent représentées par leur vitesse et leur direction)	m/s km/h noeuds mph Mile le plus rapide Echelle Beaufort Pascal (Pa) Degrés/grades Directions du compas	Anémomètre: – à coupelles – à hélice – à tube de Pitot – à ultrasons – à fil/film chauffé (la hauteur standard de l'OMM est de 10 m au-dessus du sol) Girouette Anémomètre deux ou trois axes	Le vecteur du vent peut également être représenté par ses composantes de vitesse dans la direction est-ouest et nord-sud
Température	Température instantanée Température maximale quotidienne Température minimale quotidienne etc.	Température moyenne quotidienne Moyennes mensuelles et annuelles, etc.	°C (Celsius) °F (Fahrenheit) °K (Kelvin, absolu)	Thermomètre: – à mercure – à alcool – à thermocouple – à fil chauffé – à résistance de platine – à thermistance	Mesuré à l'ombre
Humidité	Humidité relative Température du point de rosée Température humide Température du point de gelée	Humidité absolue Humidité relative Pression de la vapeur d'eau Moyennes Extrêmes quotidiennes	% (humidité relative) g/ m ³ (humidité absolue) mmHg, Pa (pression de la vapeur d'eau)	Hygromètre Divers thermomètres Psychromètre	N'indique <i>que</i> la <i>vapeur</i> d'eau dans l'air et non l'eau visible comme par exemple nuages, pluie ou neige. L'air chaud peut contenir plus de vapeur que l'air plus froid. On mesure l'un ou l'autre des paramètres, à savoir humidité relative, température du point de rosée ou température humide. Les deux autres en sont alors dérivés
Précipitation	Hauteur d'eau dans un temps spécifié Hauteur de neige	Intensité (mm/min., mm/h,...) Equivalent en eau de la neige	mm pouces	Pluviomètre (seau) Echelle à neige	La quantité de précipitation est en général également liée à son type: pluie, neige, bruine, grêle, etc. L'efficacité de la capture peut varier en fonction du vent, en particulier dans le cas de la neige

(suite)

Table B.1 – Weather elements and weather parameters

Element	Parameters		Unit	Instrument	Remarks
	measured/observed	derived			
Air pressure	Station pressure	Sea level pressure	mmHg inches of Hg millibar (mbar) hectoPascal (hPa)	Barometer	Sea level pressures are most often reported
Wind	<i>Wind speed:</i> Instantaneous speed ("gust") Highest gust speed (within a period of time, 10 min, 1 h,...) 10 min. mean speed Wind distance within a specified time <i>Wind direction</i> Wind direction associated with concurrent wind speed	Average speeds (1 min – 1 h) Highest mean wind speed within a period of time (1 h, one storm) Wind pressure Turbulence: – turbulence intensity – gust ratios Gradient with height Cross correlation Wind spectra, etc. Wind rose (statistics of wind velocities represented by speed and direction)	m/s km/h knots mph Fastest mile Beaufort scale Pascal (Pa) Degrees/grads Compass directions	Anemometer: – cups anemometer – propeller – Pitot tube – ultrasonic – hot wire/film (WMO-standard height is 10 m above ground) Wind vane Two or three axis anemometers	The wind vector may also be represented by its speed components in the east-west and north-south direction
Temperature	Instantaneous temperature Daily maximum temperature Daily minimum temperature, etc.	Daily average temperature Monthly and yearly average, etc.	°C (Celsius) °F (Fahrenheit) °K (Kelvin, absolute)	Thermometer: – mercury – alcohol – thermocouple – hot wire – platinum resistance – thermistor	Measured in the shade
Humidity	Relative humidity Dew point temperature Wet bulb temperature Frost point temperature	Absolute humidity Relative humidity Water vapour pressure Averages Daily extremes	% (relative humidity) g/m ³ (absolute humidity) mmHg, Pa (water vapour pressure)	Hygrometer Various thermometers Psychrometer	Reflects only the water vapour in the air and not visible water as clouds, rain or snow. Warm air may contain more vapour than colder air Either parameter relative humidity, dew point or wet bulb temperature is measured. The other two are then derived
Precipitation	Water depth in specified time Snow depth	Intensity (mm/min., mm/h,...) Water equivalent of snow	mm inches	Precipitation gauge (bucket) Snow stick	The amount of precipitation is generally also related to the type: rain, snow, drizzle, hail, etc. The catch efficiency may vary with wind, especially for snow

(continued)

Tableau B.1 (fin)

Elément	Paramètres		Unité	Instrument	Remarques
	mesuré/observé	dérivé			
Nuages	Couverture nuageuse		Octas/dixième (partie du ciel couverte par les nuages)	Observations visuelles Instruments satellites	La hauteur des nuages est le plus souvent convertie en codes de hauteur (0 – 9) Le brouillard est un nuage dont la base est au sol
	Hauteur des nuages		m, ft (hauteur de la base des nuages par rapport au sol)	Observations visuelles Cielomètre	
	Type de nuage		En fonction de définitions séparées	Observations visuelles	
	Brouillard (visibilité inférieure à 1 000 m)				
Eau à l'état liquide	Teneur en eau liquide (LWC)		g/m ³	Multicylindre rotatif Filtres Divers instruments optiques	
	Taille des gouttelettes	Spectre de gouttelettes Diamètre moyen du volume (mvd)	µm	Impacteur à cascade Multicylindre rotatif Instruments optiques	
Givrage atmo-sphérique	Verglas (pluie qui gèle au sol)			Râtelier de mesure de givre	Description uniquement qualitative par les observateurs météorologiques Pour plus d'informations, voir la CEI 60826, annexe H Mesure le taux d'accumulation de givre à partir de la fréquence de fusion du givre sur une tige vibrante.
	Neige collante et sèche				
	Givre (léger et compact)				
	Gelée blanche				
	Taux de givrage		mm/h g/h	Mesureur de taux de givrage	

B.2 Procédures générales d'observation

Les principes et méthodes d'observation météorologique sont essentiellement basés sur des normes internationales édictées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) à Genève, qui est une organisation des Nations Unies. La plupart des pays membres des Nations Unies ont leur propre institut météorologique et réseau d'observation national conforme à ces normes.

B.2.1 Code synoptique

Les observations météorologiques générales et rapports de données (télégrammes) sont effectuées conformément au «code synoptique» (SYNOP). Synoptique signifie «donnant une vue générale». Le code synoptique est une norme internationale permettant d'assurer que toutes les observations et télégrammes sont bien définis et comparables afin d'être utilisables dans n'importe quel pays du monde. Toutes les prévisions météorologiques doivent impérativement être basées sur la description d'une situation météorologique initiale ou carte météorologique «synoptique». Dans ce but, des observations météorologiques sont effectuées dans le monde entier à heures fixes (00 h, 06 h, 12 h et 18 h, temps universel (TU). De nombreuses stations font des observations toutes les 3 h. Des observations supplémentaires peuvent être faites en fonction des besoins et moyens locaux, par exemple aux aéroports où des observations sont faites toutes les heures ou toutes les demi-heures pendant les heures d'ouverture de l'aéroport.

Table B.1 (concluded)

Element	Parameters		Unit	Instrument	Remarks
	measured/observed	derived			
Clouds	Cloud cover		Octas/tenths (part of sky covered with clouds)	Visual observations Satellite instruments	
	Cloud height		m, ft (height from ground to lowest cloud base)	Visual observations Ceilometer	Cloud heights are most often converted to height codes (0 – 9)
	Cloud type		According to separate definitions	Visual observations	
	Fog (visibility less than 1 000 m)				Fog is the same as cloud with its base on the ground
Water in liquid state	Liquid water content (LWC)		g/m ³	Rotating multicylinder Filters Various optical instruments	
	Droplet size	Droplet spectra Mean volume diameter (mvd)	µm	Cascade impactor Rotating multicylinder Optical instruments	
Atmospheric icing	Glaze (rain that freezes on the ground)			Ice rack	Only qualitatively described by meteorological observers
	Wet and dry snow				
	Rime (soft and hard)				For further information see IEC 60826, annex H
	Hoar frost				
	Icing rate		mm/h g/h	Icing rate meter	Measures the rate of ice accumulation from the frequency of ice melting on a vibration rod

B.2 General observation procedures

Meteorological observation routines and practices are mostly based on international standards as given by the World Meteorological Organization (WMO) in Geneva, which is an organization under the United Nations. Most UN member countries have their own national meteorological institutions and observation networks which comply with these standards.

B.2.1 Synoptic code

The general meteorological observations and data reports (telegrams) are made according to the "Synoptic Code" (SYNOP). Synoptic means "taking a general view". The Synoptic Code is an international standard to ensure that all observations and telegrams are well-defined and comparable for general use in any country in the world. All weather forecasts shall be based on the description of an initial weather situation, or a "synoptic" weather map. In order to obtain this, meteorological observations are performed, worldwide, at fixed hours (00 h, 06 h, 12 h and 18 h, Greenwich Mean Time (GMT)); many stations make observations every 3 h. Additional observations may be taken according to local needs and resources, for instance at airports where hourly or half hourly observations are taken during the open hours of the airport.

Un enregistrement météorologique se compose, en général, d'indications d'instruments et d'observations visuelles. Les éléments tels que la température de l'air, la pression de l'air et l'humidité doivent nécessairement être des lectures d'instruments, tandis que les nuages et les précipitations sont des indications visuelles.

Certains éléments peuvent être observés soit manuellement soit par des instruments. L'exemple typique est le vent. En général, un grand nombre de stations météorologiques moins importantes (stations météorologiques de «deuxième ordre») observent la force du vent (et non la vitesse du vent) par les effets du vent selon l'échelle de Beaufort. Il existe également des instruments essentiellement aux aéroports qui permettent de mesurer l'altitude de la base des nuages, la visibilité, le profil vertical du vent ("vent rabattant"), la couverture nuageuse et la couverture neigeuse.

Le code synoptique définit également les paramètres qui doivent être observés ou mesurés afin de décrire un élément météorologique donné. Une étude de ces paramètres est donnée en relation avec le résumé des questionnaires reçus des instituts météorologiques nationaux.

B.2.2 Réseau de stations

Ce réseau de stations météorologiques varie considérablement d'un pays à l'autre. Les stations devant en général être pourvues en personnel, on trouve la densité de stations la plus élevée dans les zones les plus peuplées. D'autre part, les stations météorologiques sont connectées à des activités et fonctions dépendantes des conditions météorologiques comme les aéroports et les phares (de signalisation maritime). De ce fait, les montagnes et autres zones reculées fournissent en général très peu de données.

B.2.3 Stations automatiques

Lorsque les observations instrumentales sont d'une importance vitale, des stations automatiques peuvent être utilisées. Ces stations sont installées le plus fréquemment dans les régions arctiques, les océans («bouées météorologiques») et autres lieux reculés.

Leur nombre croît rapidement désormais, avec des installations réalisées également dans les zones peuplées et les aéroports. Les données peuvent être transmises par radio, téléphone ou satellite ou enregistrées localement.

B.2.4 Stockage des données et publications

En général, tous les enregistrements météorologiques, y compris les bandes de papier enregistrées par les instruments, sont archivés par les instituts météorologiques. Ces instituts disposent également de systèmes de récupération, de traitement statistique et de publication des données. Au cours de ces dernières années, les systèmes informatisés se sont généralisés.

Des publications standard d'observations météorologiques existent dans la plupart des pays, comme par exemple les valeurs moyennes de températures quotidiennes, mensuelles et annuelles, les hauteurs de précipitations, les jours d'ensoleillement, les jours à ciel couvert ou les jours de pluie, les tables de fréquence de vitesse du vent (force)/direction du vent, etc. Les valeurs extrêmes, par exemple les températures, les totaux de pluie et de neige et les vitesses du vent peuvent également être obtenus, au moins pour certaines des principales stations météorologiques de chaque pays.

Un ensemble minimal d'observations standard se composant en général de paramètres décrivant la température, le vent, les précipitations, la couverture nuageuse et le «temps en général», il est en principe possible d'analyser toute combinaison des paramètres disponibles. Les combinaisons utiles peuvent être:

- température – force du vent (vitesse du vent) simultanées
- température – hauteur de précipitation simultanées
- direction du vent – couverture nuageuse/altitude de la base des nuages simultanées

A weather record consists, in general, of both instrument readings and visual observations. Elements such as air temperature, air pressure and humidity must necessarily be instrument readings, while cloud and precipitation type are visual.

Some elements may be observed either manually or by instruments. A typical example is wind. In general many less important stations ("second order" weather stations) observe the wind force (not the wind speed) by the effects of the wind according to the Beaufort scale. There are also instruments, mostly at airports, to measure height to cloud base ("cloud height"), visibility, vertical wind profile ("wind shear"), cloud and snow cover.

The Synoptic Code also defines parameters to be observed or measured in order to describe the respective weather element. A survey of these parameters is given in connection with the summary of the questionnaires from the national meteorological institutions.

B.2.2 Station network

The network of meteorological stations varies widely between countries. Since the stations in general have to be manned, the highest station density is in populated areas. Furthermore, meteorological stations are connected to weather-sensitive activities and functions like airports and lighthouses. Hence, very little data is generally available from mountains and other remote areas.

B.2.3 Automatic stations

Where instrument observations are of vital importance, automatic stations may be used. Such stations have been most frequently set up in arctic regions, oceans ("weather buoys") and other remote places.

The number is now rapidly increasing, with installations also being made in populated areas and airports. Data may be transmitted via radio, telephone or satellite, or stored locally.

B.2.4 Data storage and publications

In general, all weather records, including instrument charts, are archived by the meteorological institutions. They also have systems for retrieval, statistical treatment and publication of data. In recent years computerized systems have become more common.

Some standard publications of weather observations are available in most countries, for instance average values for daily, monthly and annual temperatures, precipitation amounts, sunny days, overcast or rainy days, wind speed (force)/wind direction frequency tables, etc. Extreme values, for example temperature, rain and snow totals and wind speeds may also be obtained, at least for some of the main weather stations in each country.

As a set of minimum standard observations generally consists of parameters describing temperature, wind, precipitation, cloud cover and the "general weather", it is in principle possible to analyse any combination of the available parameters. Useful combinations may be:

- concurrent temperature – wind force (wind speed)
- concurrent temperature – precipitation amount
- concurrent wind direction – cloud cover/cloud height

B.2.5 Homogénéité des données météorologiques

Lorsque les données météorologiques sont soumises à l'analyse statistique, il convient de porter attention à l'homogénéité des séries de données. La qualité et l'interprétation de longues séries de données météorologiques peuvent être influencées, par exemple, par:

- le déplacement du site d'observation,
- le changement d'instrument,
- le changement de hauteur des instruments,
- une mauvaise maintenance ou un mauvais étalonnage des instruments,
- un changement d'observateur,
- un changement de la végétation avoisinante,
- un changement des bâtiments avoisinants,
- l'augmentation de l'urbanisation.

En conséquence, il convient de ne pas utiliser de telles séries de données avant qu'un contrôle de leur homogénéité ait été effectué par des météorologues.

B.3 Modèles de prévision météorologique

Au cours des 10 dernières années, les modèles atmosphériques dynamiques utilisés pour les pronostics météorologiques réguliers ont connu un développement rapide, parallèle à l'augmentation de la capacité des ordinateurs. Un des développements notables est associé aux modèles à mailles fines (MMF). Les dimensions des mailles sont aujourd'hui réduites à 50 km ou moins dans de nombreux pays. Cela conduit à une représentation topographique affinée et donc à un développement important des prévisions du vent, de la température, des nuages et des précipitations locales.

Lorsque de tels modèles sont complétés par des mesures et observations météorologiques en temps réel, ils constituent un potentiel considérable pour la modélisation de tous types d'accumulation de givre atmosphérique ainsi que de description climatologique des paramètres météorologiques dans la zone du modèle.

Certains pays ont déjà inclus les MMF à leurs principes de surveillance (c'est le cas par exemple du Japon, de la France et du Canada), ainsi que dans leurs modèles de givrage.

B.2.5 Homogeneity of meteorological data

When meteorological data are subjected to statistical analysis, great care should be taken as to the homogeneity of the data series. The quality and interpretation of long meteorological data series may be influenced by, for instance:

- moving of observation site,
- change of instruments,
- change in height of instruments,
- poor maintenance or calibration of instruments,
- change of observer,
- change in surrounding vegetation,
- change in surrounding buildings,
- increased urbanisation.

Therefore, such data series should not be used before a homogeneity check is carried out by meteorologists.

B.3 Meteorological forecasting models

The dynamic atmospheric models used for regular weather prognoses have developed rapidly in the last 10 years, along with the increased computer capacity. One notable development is associated with the so-called "Limited Area Models" (LAM). The grid dimensions are now reduced to 50 km or less in many countries. This leads to a refined topographic representation and hence to significant development in forecasting local wind, temperature, clouds and precipitation.

When such models are supplemented with real time weather measurements and observations, they have considerable potential for modelling all types of atmospheric ice accretions, as well as climatological descriptions of weather parameters within the model area.

Some countries have already included LAMs in their routines for surveillance (for instance Japan, France, Canada), as well as for use in their icing models.

Annexe C (informative)

Exemples de construction de tiges de mesure de la charge de givre et possibilités d'utilisation pour divers types de givrage

La figure C.1a présente un exemple d'installation comportant une paire de tiges simples nécessitant l'observation manuelle. La figure C.1b en présente une version modifiée. Cette installation a été introduite dans la CEI 60826 pour la mesure du verglas.

La figure C.2 présente des exemples de tiges de mesure automatisée de la charge de givre de divers types. Les applications de ces différents modèles à différents types de givrage, ainsi que les raisons associées sont les suivantes:

C.1 Verglas causé par la pluie verglaçante

Le type à barre en T suspendu illustré à la figure C.2a n'est pas utilisable car le givrage sur le capteur d'efforts proprement dit affecte la charge indiquée. Le type suspendu de la figure C.2b et le type à râtelier de la figure C.2d sont utilisables. Le type vertical de la figure C.2c n'est pas utilisable du fait que l'eau liquide s'écoulera le long de la tige, ce qui conduira à la formation de glaçons à l'extrémité basse de la tige.

C.2 Brouillard givrant y compris givre compact et givre léger

Tous les types de tiges de mesure illustrés à la figure C.2 sont utilisables. Toutefois, il convient de s'assurer que les tiges sous le vent ne sont pas masquées par les tiges au vent ou par le système de support. Pour les sites où l'on prévoit la croissance humide du brouillard givrant, le type vertical illustré à la figure C.2c n'est pas utilisable pour les mêmes raisons que celles décrites en C.1.

C.3 Accumulation de neige collante

La neige collante accumulée sur les tiges du type à barre suspendue illustrées à la figure C.2b tend à se décharger spontanément à la suite du mouvement des tiges proprement dites induit par le vent.

C.4 Accumulation de neige sèche

Même dans les conditions combinées de température négative et de vent léger, une accumulation de neige peut se produire à la suite de l'agglomération des flocons de neige accumulés sur la tige. Ce type d'accumulation de neige peut atteindre des diamètres importants et, dans ce cas, le type à râtelier illustré en figure C.2d est le mieux adapté du fait qu'il est plus stable que les autres types.

Annex C

(informative)

Examples of construction of ice load measuring rods and applicability to various types of icing

An example of an installation with a pair of simple rods requiring manual observation is shown in figure C.1a. A modified version is shown in figure C.1b. This was introduced in IEC 60826 for measuring glaze ice.

Some examples of automated, ice load measuring rods of various constructions are shown in figure C.2. The applications of these different constructions to various types of icing, together with the associated reasons, are as follows:

C.1 Glaze caused by freezing rain

The suspended T-bar type shown in figure C.2a is not applicable because icing on the load cell itself will affect the indicated load. The suspended type in figure C.2b and the rack type in figure C.2d are applicable. The vertical type in figure C.2c is not applicable because any liquid water will run down the rod, leading to the formation of icicles at the bottom end of the rod.

C.2 In-cloud icing including hard rime and soft rime

All types of measuring rods shown in figure C.2 are applicable. However, care should be taken to ensure that leeward rods are not sheltered by windward rods or by the supporting system. For sites where the wet growth of in-cloud icing is expected, the vertical type shown in figure C.2c is not applicable for the same reason as described in C.1.

C.3 Wet snow accretion

Wet snow accreted on rods of the suspended bar type, shown in figure C.2b, tends to shed spontaneously as a result of the wind-induced movement of the rods themselves.

C.4 Dry snow accretion

Even under the combined conditions of sub-zero temperature and light wind, a snow accretion may occur as a result of the sintering of snowflakes accumulated on the rod. This type of snow accretion may grow to large diameters, and here the rack type shown in figure C.2d is most suitable because it is more stable than the other types.

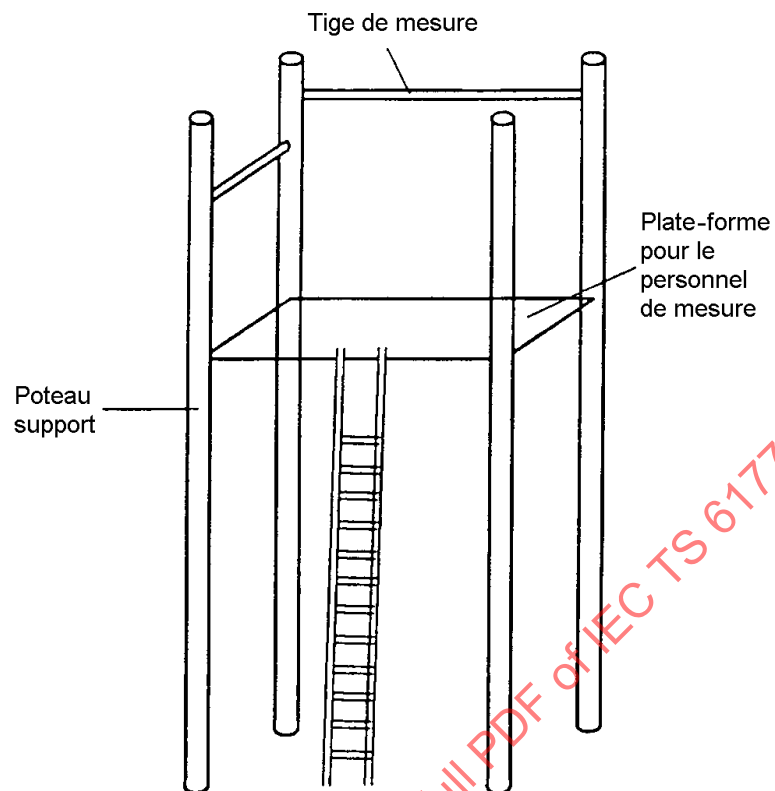


Figure C.1a – Exemple de paire de tiges simples pour la mesure de la charge de givre

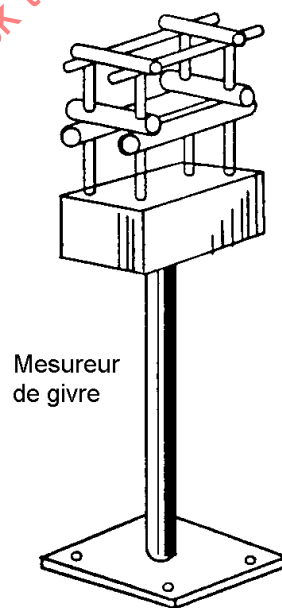


Figure C.1b – Mesureur de givre passif, introduit par la CEI 60826

Figure C.1 – Exemples de dispositifs de mesure du givre exigeant des observations manuelles

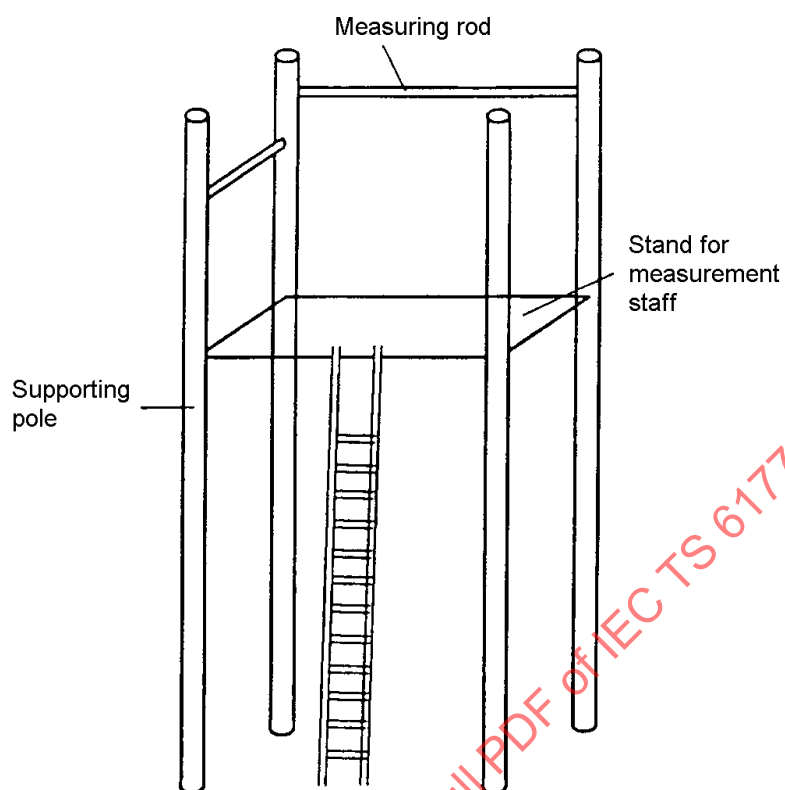


Figure C.1a – An example of a pair of simple rods for measuring ice load

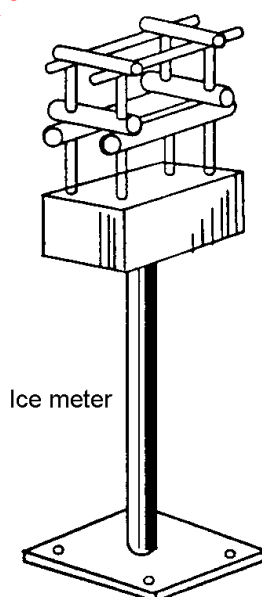


Figure C.1b – Passive ice meter as introduced in IEC 60826

Figure C.1 – Examples of ice meters requiring manual observations

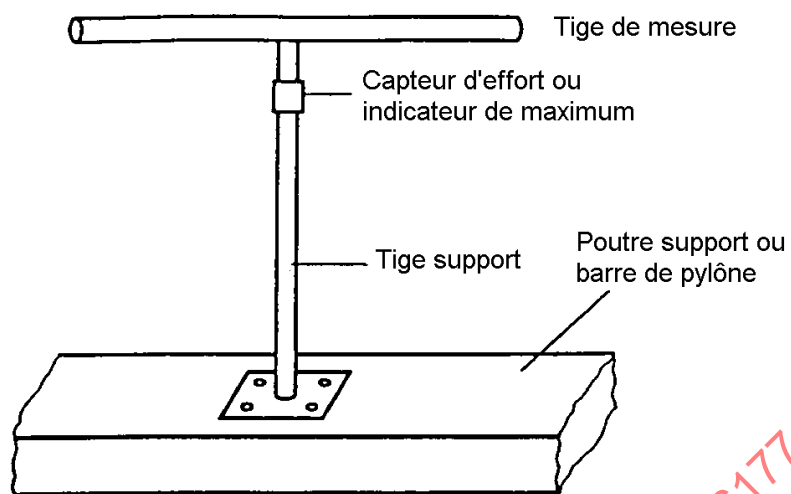


Figure C.2a – Type à barre en T

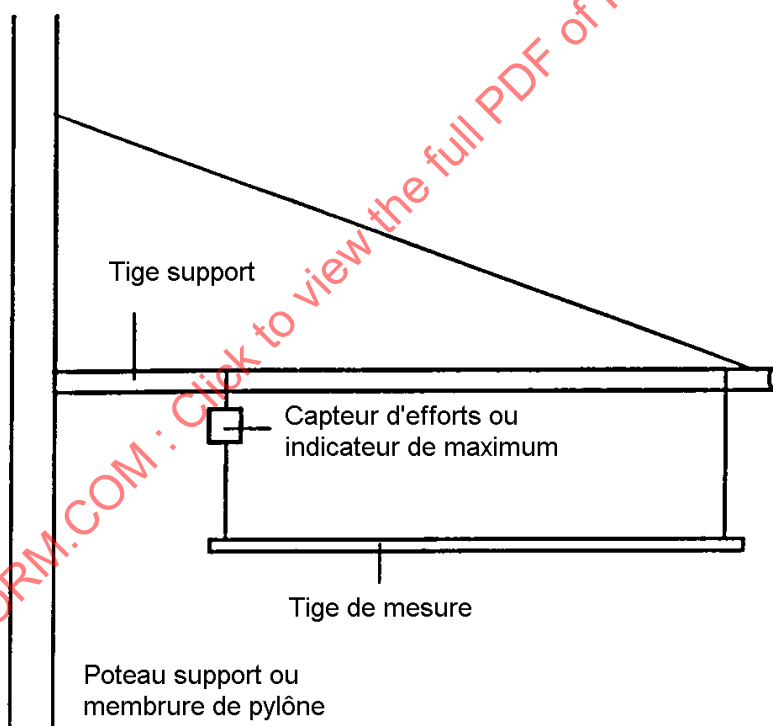


Figure C.2b – Type suspendu

Figure C.2 – Exemples de tiges de mesure automatisée de la charge de givre

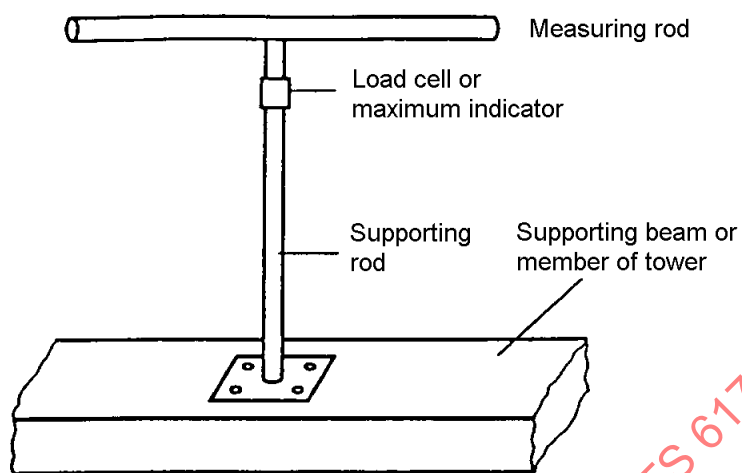


Figure C.2a – T-bar type

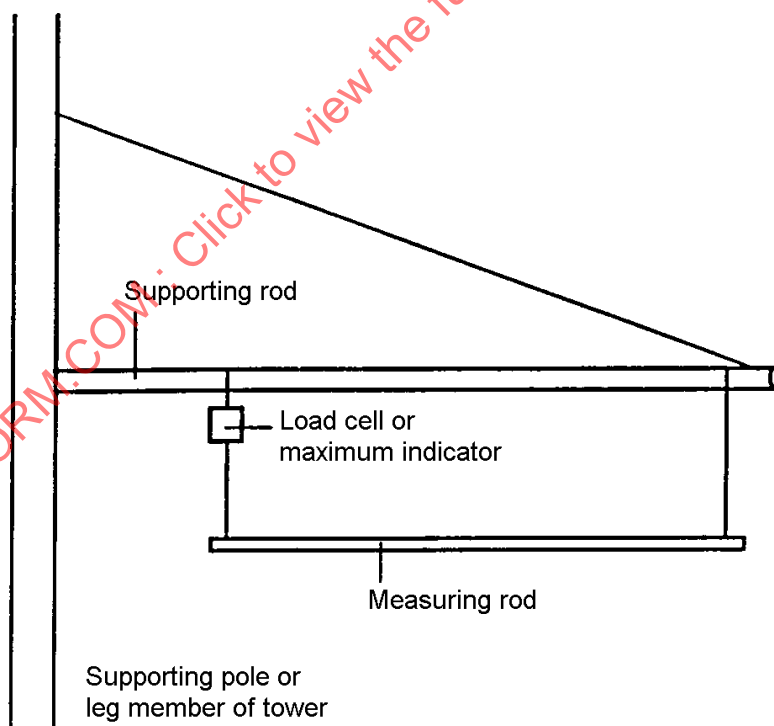


Figure C.2b – Suspended type

Figure C.2 – Examples of automated ice-load measuring rods

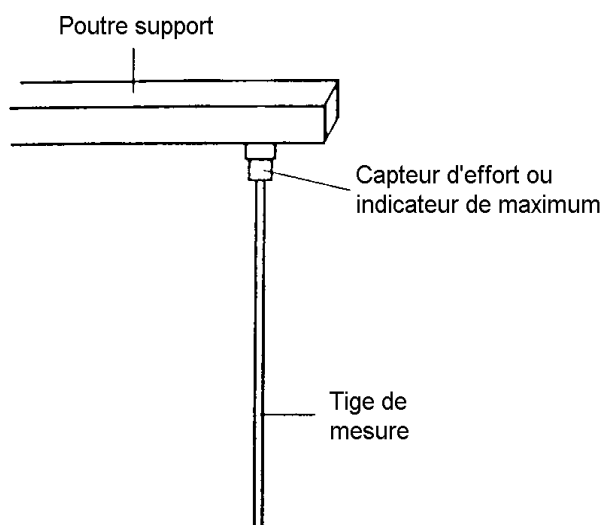


Figure C.2c – Type vertical

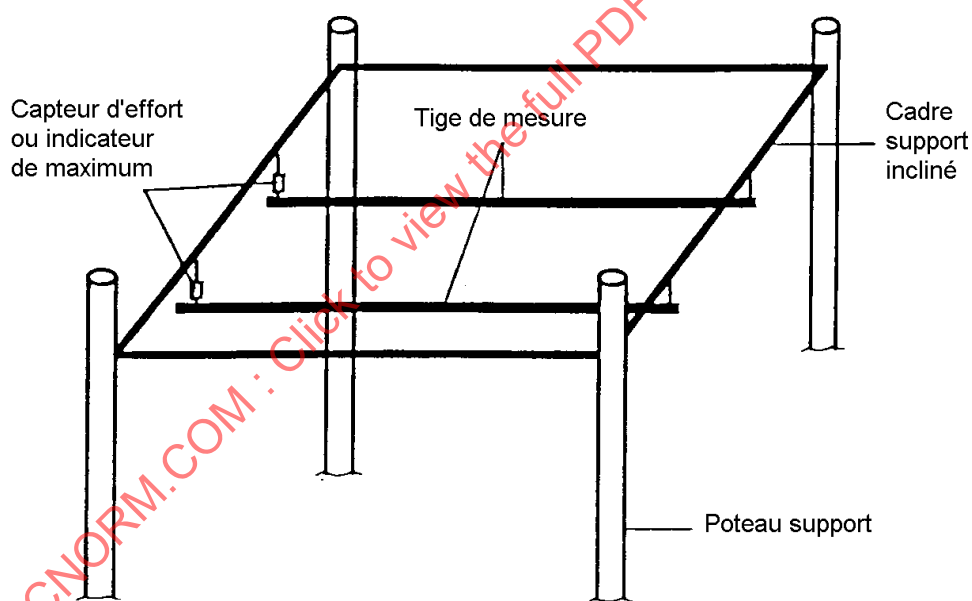


Figure C.2d – Type râtelier

Figure C.2 – Exemples de tiges de mesure automatisée de la charge de givre (fin)

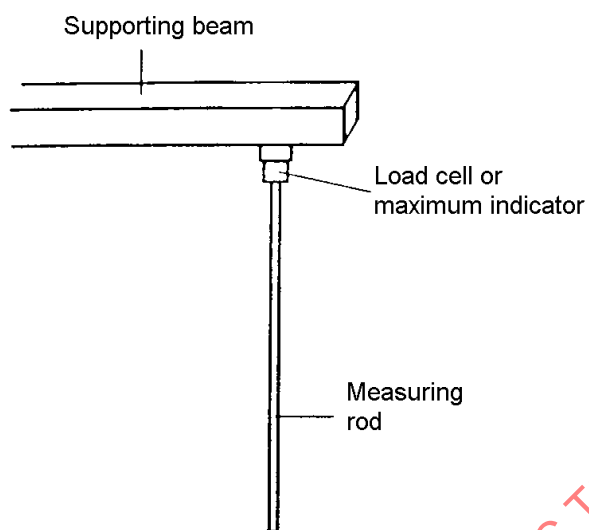


Figure C.2c – Vertical type

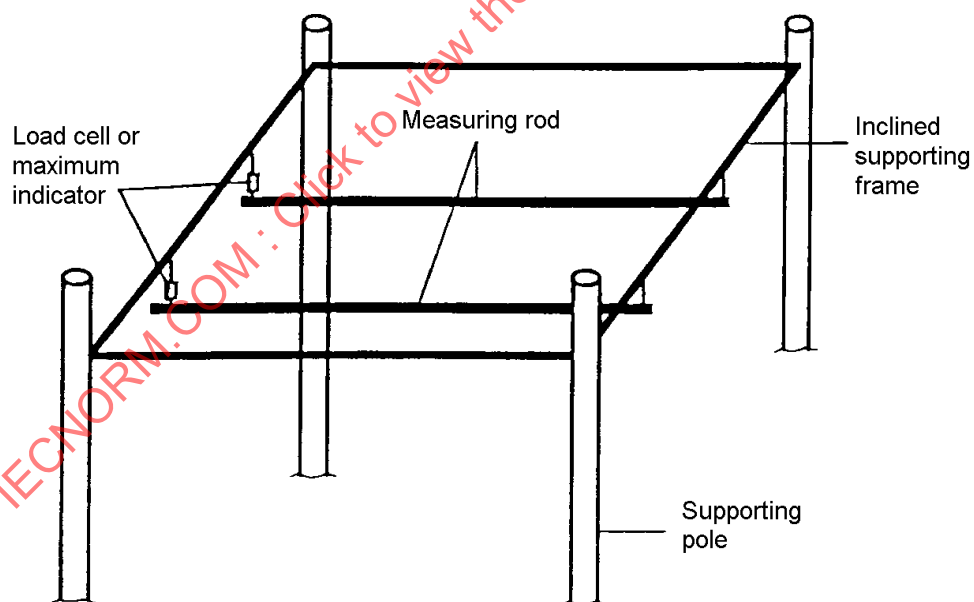


Figure C.2d – Rack type

Figure C.2 – Examples of automated ice-load measuring rods (concluded)

Tableau D.1 – Exemples de portées d'essai

Pays Site	Nombre de sites	Date d'établissement	Longueur de la portée (m)	Hauteur des pylônes (m)	Altitude (m anm)	Conducteurs 2)	Diamètres (mm)	Instrumentation							Commentaire
								Capteur d'efforts	Détecteur de givre	Anémomètre 3)	Thermomètre	Hygromètre	Pluviomètre	Teneur en eau liquide et taille des gouttelettes	
Canada Terre Neuve et Labrador Mt. Valin Ontario	1 1 6	—1) 1984–5 1960–90	2 × 213 100 250–300	– 19 25–35	247 902	s s,b s,b	12,5–35 20–30	x x x	x x x	h h x	x x x	x x x	x x x	Certaines portées ont été démontées	
République Tchèque Praded 4) Studnice	1 1	1960–70 >1980	100 265	10 48	1 490 800	5s 2s+b	10–60 –	 x	 h	x x	x x	 x	 x	Personnel permanent Personnel permanent	
Allemagne Mt Hornisgrinde Fichtelberg	3 2	1960 –	300 50	36 10–24	1 300 1 200	s,b s,b	– –	x x	 c h	 	 	 	 	Démonté	
Hongrie Harskut	1	1981	1050	45	500	s,b	21–31,5	x	x	x	x	x	x	x	
Islande Divers	36	1972–	80	10	400– 1 000	s	18–28	x	 	 	x 	 	 	30 sites de 10 ans ou plus	
Japon Takaishi-yama Ryuouzan Oku-Nikkou	1 1 1	1978– 1979–82 1979–	1 × 320 1 × 190 363 247 1 × 324	4 × 80 8 × 80 2 × 40	1 500 830 1 750	s,b s,b s,b	38,4 34,2 28,5 12,9 38,4	x x x	 x x	x x x	x 	 	x 		
Norvège Mt Gaustatoppen Divers	1 2	1982/83 1990–	153– 242 2 × 40	11– 19 –	1 700 1 800 Divers	s,b,o s,o	34 17	x x	x 	h c	x x	 	x 	Conducteur creux Conducteur BLX Axis	
Royaume-Uni Green Lowther Deadwater Fell	1 1	1990 1992	80 200	10–12 14	746 567	5s,b 5s,b	– –	x x	 c c	x x	 	 	x x		
Etats-Unis Mt Washington Wichita	1 4	1982 1983	8,5 84	– 12	2 000	s s	60 14–21	x 	x 	h c	x x	 	x 		
Italie Col de Pradarena	1	1968	18 × 20	7	1 580	s b o	10,5–56,25 31,5 (×2, ×3, ×4)	x x x	 x x	x x x	x x x	x 5) x 5) x 5)	x 5) x 5) x 5)	5) Démonté	
1) Pas d'informations 2) s: conducteur simple b: faisceau de conducteurs o: autres types de conducteurs 3) c: anémomètre classique (non chauffé) h: anémomètre chauffé 4) Plate-forme située dans une station météorologique synoptique normale															

Annex D

(informative)

Table D.1 – Examples of test spans

Country Site	No of sites	Established	Span length (m)	Tower height (m)	Elevation (masl)	Conductors 2)	Diameters (mm)	Instrumentation							Comments
								Load cell	Ice detector	Anemometer 3)	Thermometer	Hydrometer	Precipitation gauge	Liquid water and droplet sizes	
Canada New Foundland and Labrador Mt. Valin Ontario	1 1 6	– 1) 1984–5 1960–90	2 × 213 100 250–300	– 19 25–35	247 902	s s,b s,b	12,5–35 20–30	x x x	x	h h x	x x x	x x			Some are dismantled
Czech Republic Praded 4) Studnice	1 1	1960–70 >1980	100 265	10 48	1 490 800	5s 2s+b	10–60 –	 x		x h	x x	 x			Permanent staff Permanent staff
Germany Mt Hornisgrinde Fichtelberg	3 2	1960 –	300 50	36 10–24	1 300 1 200	s,b s,b	– –	x x		c h	 	 			Dismantled
Hungary Harskut	1	1981	1050	45	500	s,b	21–31,5	x	x	x	x	x	x	x	
Iceland Various	36	1972–	80	10	400– 1 000	s	18–28	x			x				30 sites with 10 years or more
Japan Takaishi-yama Ryuouzan Oku-Nikkou	1 1 1	1978– 1979–82 1979–	1 × 320 1 × 190 363 247 1 × 324	4 × 80 3 × 80 2 × 40	1 500 830 1 750	s,b s,b s,b	38,4 34,2 28,5 12,9 38,4	x x x		x x x	x x x			x x	
Norway Mt Gaustatoppen Various	1 2	1982/83 1990–	153– 242 2 × 40	11– 19 –	1 700 1 800 Various	s,b,o s,o	34 17	x x	x x	h c	x x			x x	Hollow conductors BLX Axus conductors
United Kingdom Green Lowther Deadwater Fell	1 1	1990 1992	80 200	10–12 14	746 567	5s,b 5s,b	– –	x x		c c	x x			x x	
USA Mt Washington Wichita	1 4	1982 1983	8,5 84	– 12	2 000	s s	60 14–21	x x	x x	h c	x x			x x	
Italy Pradarena pass	1	1968	18 × 20	7	1 580	s b o	10,5–56,25 31,5 (×2, ×3, ×4)	x x x		x x x	x x x	x 5) x 5) x 5)	x 5) x 5) x 5)		5) Dismantled
1) No information 2) s: single conductor b: bundle conductors o: other conductor types 3) c: conventional (unheated) anemometer h: heated anemometer 4) Stand situated in normal synoptical meteorological station															

Annexe E (informative)

Exemples de modèles de givrage

Plusieurs modèles de givrage sont décrits pour illustrer les spécifications des modèles, comme par exemple le type de données climatologiques requises et la forme des valeurs d'accumulation de givre estimées. Les chiffres entre crochets carrés [...] renvoient à l'annexe H.

E.1 Verglas

Dans un modèle donné par Chainé et Skeates [1], l'épaisseur de l'accumulation de givre sur les surfaces horizontales est supposée être la quantité de précipitations observée divisée par la densité supposée du givre (900 kg/m^3). L'accumulation de givre sur les surfaces verticales est fonction du taux de précipitation et de la vitesse du vent. Les épaisseurs horizontales et verticales sont utilisées pour calculer l'épaisseur radiale équivalente qui est souvent corrigée par un facteur qui dépend de la température de l'air et du diamètre du conducteur givré. Ce facteur de correction a été déterminé à partir d'expériences effectuées en soufflerie (Stallabrass and Hearty, [12]). Le diamètre du conducteur givré est mis à jour à chaque pas de 1 h.

Données d'entrée:

- vitesse du vent,
- température,
- taux de précipitation.

Données de sortie:

- masse de givre,
- épaisseur radiale du dépôt de givre.

E.2 Givre

Un modèle qui ne simule que le givrage est donné par Makkonen [6]. Un calcul du coefficient de collection (interception des gouttelettes par des formes géométriques en fonction de la taille des gouttes, de la vitesse du vent et du rayon de la forme), est effectué au moyen d'équations paramétriques bien établies. Un calcul de la fraction de gel (partie de l'eau interceptée qui gèle effectivement) est basé sur des équations de bilan thermique (prenant en compte les échanges thermiques conductifs, convectifs, radiatifs et chaleur latente) de la surface givrante. En fonction du taux de congélation, la formation de givre peut être soit sèche soit humide. Dans le cas de la formation humide, l'accumulation de givre est déterminée par l'équation de bilan thermique de la surface, tandis que dans le cas de la formation sèche, elle est uniquement fonction du coefficient de collection. La formation de givre sur la ligne aérienne est supposée conserver une forme circulaire. Ce modèle prend explicitement en compte les effets du changement du diamètre de l'accumulation de givre. Le calcul de la charge de givre est effectué pas à pas. Pour chaque pas de temps, on estime la charge de givre, la quantité d'accumulation de givre, le diamètre du dépôt de givre, le coefficient de collection, le taux de congélation, la densité du givre accumulé et la densité moyenne du dépôt de givre total.

Annex E (informative)

Examples of icing models

Several icing models are described to provide an illustration of model specifications, such as the type of climatological data required and the form of estimated ice accretion values. Numbers in square brackets [...] refer to annex H.

E.1 Glaze ice

In a model given by Chaîne and Skeates [1] the ice accretion thickness on horizontal surfaces is assumed to be the observed precipitation amount divided by the assumed ice density (900 kg/m^3). Ice accretion on vertical surfaces is a function of the precipitation rate and wind speed. The horizontal and vertical ice thicknesses are used to calculate the equivalent radial thickness which is often corrected by a factor that depends on air temperature and the iced conductor diameter. This correction factor was determined from wind tunnel experiments (Stallabrass and Hearty, [12]). The iced conductor diameter is updated at every 1 h time step.

Input data:

- wind speed,
- temperature,
- precipitation rate.

Output data:

- mass of ice,
- radial thickness of ice deposit.

E.2 Rime ice

A model which simulates only rime icing is given by Makkonen [6]. A collection efficiency (interception of droplets by geometric shapes as a function of drop size, wind speed and shape radius) calculation is performed using well-established parametric equations. A freezing fraction (portion of intercepted water that actually freezes) calculation is based on the heat balance equations (accounting for conductive, convective, radiative, and latent heat exchanges) of the icing surface. Depending on the freezing fraction, the ice growth can either be dry or wet. In wet growth, ice accretion is determined by the heat balance equation of the surface, while in dry growth, it is only a function of collection efficiency. Ice growth on the overhead line is assumed to maintain a circular shape. This model explicitly considers the effects of changing ice accretion diameter. The calculation of ice load is performed in a step-wise fashion. For each time step, the ice load, the amount of ice accretion, the ice deposit diameter, the collection efficiency, the freezing fraction, the density of accreting ice and the mean density of total ice deposit are estimated.

Données d'entrée:

- vitesse du vent perpendiculaire à l'objet,
- température,
- altitude de la base des nuages,
- couverture nuageuse,
- type de nuages,
- teneur en eau liquide,
- taille des gouttelettes,
- humidité relative.

Données de sortie:

- masse de givre accumulé,
- densité du givre accumulé,
- diamètre du givre accumulé.

E.3 Neige collante

Un modèle semi-empirique, applicable uniquement à l'accumulation de neige collante, est présenté par Sakamoto et Miura [15]. La version du modèle évalué dans l'annexe F suppose que l'accumulation de neige dépend du taux de précipitation, de la vitesse de chute de la neige, de la vitesse du vent, de la température de l'air, du taux d'accumulation de la neige et de la densité moyenne de la neige. Le taux d'accumulation moyen de la neige et la densité moyenne de la neige sont déterminés à partir de données observées limitées pour différentes saisons et situations météorologiques. Le modèle tient compte de la fonte de la neige ainsi que du déchargement de la neige et de la déflexion des particules de neige des lignes aériennes.

Données d'entrée:

- température,
- équivalent en eau de la neige collante,
- taux de précipitation,
- taille des flocons de neige,
- vitesse du vent.

Données de sortie:

- masse de la neige accumulée.

E.4 Verglas, givre et neige collante

Un modèle dépendant du temps qui simule à la fois les formations sèches et collantes et tente de prévoir les trois types de givrage est proposé par Makkonen [7]. Pour chaque pas de temps, on utilise des données climatologiques telles que la vitesse du vent, le taux de précipitation, la température, l'humidité relative et la visibilité combinées aux caractéristiques de la surface d'accumulation de givre, telle que la taille, la forme et la rugosité de surface pour calculer le coefficient de collection, la fraction d'accumulation, la vitesse effective du vent, la teneur en eau liquide, etc. On calcule la masse de givre et l'épaisseur radiale équivalente du givre sur les conducteurs. On utilise le diamètre mis à jour du conducteur et les caractéristiques de la surface comme entrée pour le pas de temps suivant pour simuler la quantité de givre formée sur les lignes aériennes. Cette procédure est répétée pendant toute la durée de la période de givrage.

Input data:

- wind speed normal to object,
- temperature,
- cloud base,
- cloud cover,
- cloud type,
- liquid water content,
- droplet size,
- relative humidity.

Output data:

- mass of accreted ice,
- density of accreted ice,
- diameter of accreted ice.

E.3 Wet snow

A semi-empirical model for wet-snow accretion only is presented by Sakamoto and Miura [15]. The version of the model evaluated in annex F assumes that snow accretion depends on the precipitation rate, the fall speed of snow, the wind speed, the air temperature, the snow accretion rate and the mean snow density. The mean snow accretion rate and the mean snow density are determined from limited observed data for different seasons and meteorological situations. The model considers snow melting as well as snow shedding and deflection of snow particles from overhead lines.

Input data:

- temperature,
- wet snow water equivalent,
- precipitation rate,
- snowflake size,
- wind speed.

Output data:

- mass of accreted snow.

E.4 Glaze ice, rime ice and wet snow

A time-dependent model which simulates both dry and wet growths and attempts to predict all three types of icing is given by Makkonen [7]. For each time step, climatological data such as wind speed, precipitation rate, temperature, relative humidity and visibility, combined with ice accretion surface characteristics such as size, shape and surface roughness, are used to calculate the collection efficiency, accretion fraction, effective wind speed, liquid water content, etc. The ice mass and equivalent radial ice thickness on conductors are computed. The updated conductor diameter and surface characteristics are used as input for the next time step to simulate the amount of ice formed on overhead lines. This procedure is repeated for the duration of the icing period.

Données d'entrée:

- vitesse et direction du vent,
- température,
- altitude de la base des nuages,
- couverture nuageuse,
- type de nuage,
- teneur en eau liquide,
- taille des gouttelettes,
- humidité relative,
- altitude du site.

Données de sortie:

- masse du givre accumulé,
- densité du givre,
- géométrie du manchon du givre.

E.5 Givre et neige collante

Des modèles permettant de simuler le givre et la neige collante sont développés par Poots and Skelton [9], [10]. Il s'agit de modèles mathématiques/informatiques tridimensionnels et dépendants du temps pour l'accumulation sur un conducteur de portée et de rigidité en torsion finies, en prédisant la formation axiale à proximité des points d'ancrage au pylône et la formation du manchon cylindrique sur la partie principale de la portée. Cette dernière est causée par la charge de givre/neige excentrique sur le côté au vent du conducteur et par le moment aérodynamique qui font tous les deux tourner le conducteur sur lui-même. La cinématique de l'accumulation de givre/neige est formulée en utilisant un flux d'air simulé approché soit par le flux potentiel lié, soit par un code turbulent de la dynamique des fluides (CFD = Computational Fluid Dynamics). À la fin d'un incrément de temps de dépôt, la forme de la surface accumulée est déduite et le couple dû au dépôt de givre/neige et le moment aérodynamique sont calculés le long de la portée. L'équation de torsion non linéaire est résolue numériquement, ce qui donne l'état de rotation du conducteur et l'orientation de la surface accumulée par rapport à la direction du vent. Ces modèles comprennent les aspects thermodynamiques de la transition du givre au verglas et la détermination de la teneur en eau liquide d'un dépôt de neige collante, ainsi que la reconstitution des charges de neige collante à partir des données météorologiques historiques.

Données d'entrée:

- vitesse du vent perpendiculaire au conducteur,
- température,
- teneur en eau liquide,
- taille des gouttelettes,
- taux de précipitation,
- humidité relative,
- rigidité en torsion du conducteur,
- longueur de la portée.

Données de sortie:

- charge de givre/neige le long de la portée,
- rotation du conducteur,
- forme de la surface accumulée.

Input data:

- wind speed and direction,
- temperature,
- cloud base,
- cloud cover,
- cloud type,
- liquid water content,
- droplet size,
- relative humidity,
- altitude of site.

Output data:

- mass of accreted ice,
- ice density,
- geometry of ice sleeve.

E.5 Rime ice and wet snow

Models to simulate rime ice and wet snow are developed by Poots and Skelton [9], [10]. These are three-dimensional, time-dependent, mathematical/computational models for accretion on a conductor of finite span and finite torsional stiffness, predicting axial growth near the anchors on the towers and cylindrical-sleeve growth over the major portion of the span. The latter is caused by the eccentric ice/snow load on the windward side of the conductor and by aerodynamic moment, both of which induce the conductor to rotate. The ice/snow accretion kinetics are formulated by using a simulated airflow approximated by either attached potential flow or a Computational Fluid Dynamics (CFD) turbulent code. At the end of an increment in deposit time the shape of the accreted surface is deduced and the ice/snow torque and aerodynamic moment calculated along the span. The nonlinear torsion equation for the conductor is solved numerically yielding the rotational state of the conductor and the orientation of the accreted surface to the wind direction. These models include thermodynamical aspects of the transition from rime to glaze and the determination of the liquid water content of a wet-snow deposit, together with the reconstitution of wet-snow loads from historical weather data.

Input data:

- wind speed normal to the conductor,
- temperature,
- liquid water content,
- droplet size,
- precipitation rate,
- relative humidity,
- torsional stiffness of conductor,
- span length.

Output data:

- ice/snow load across the span,
- rotational state of the conductor,
- shape of the accreted surface.