

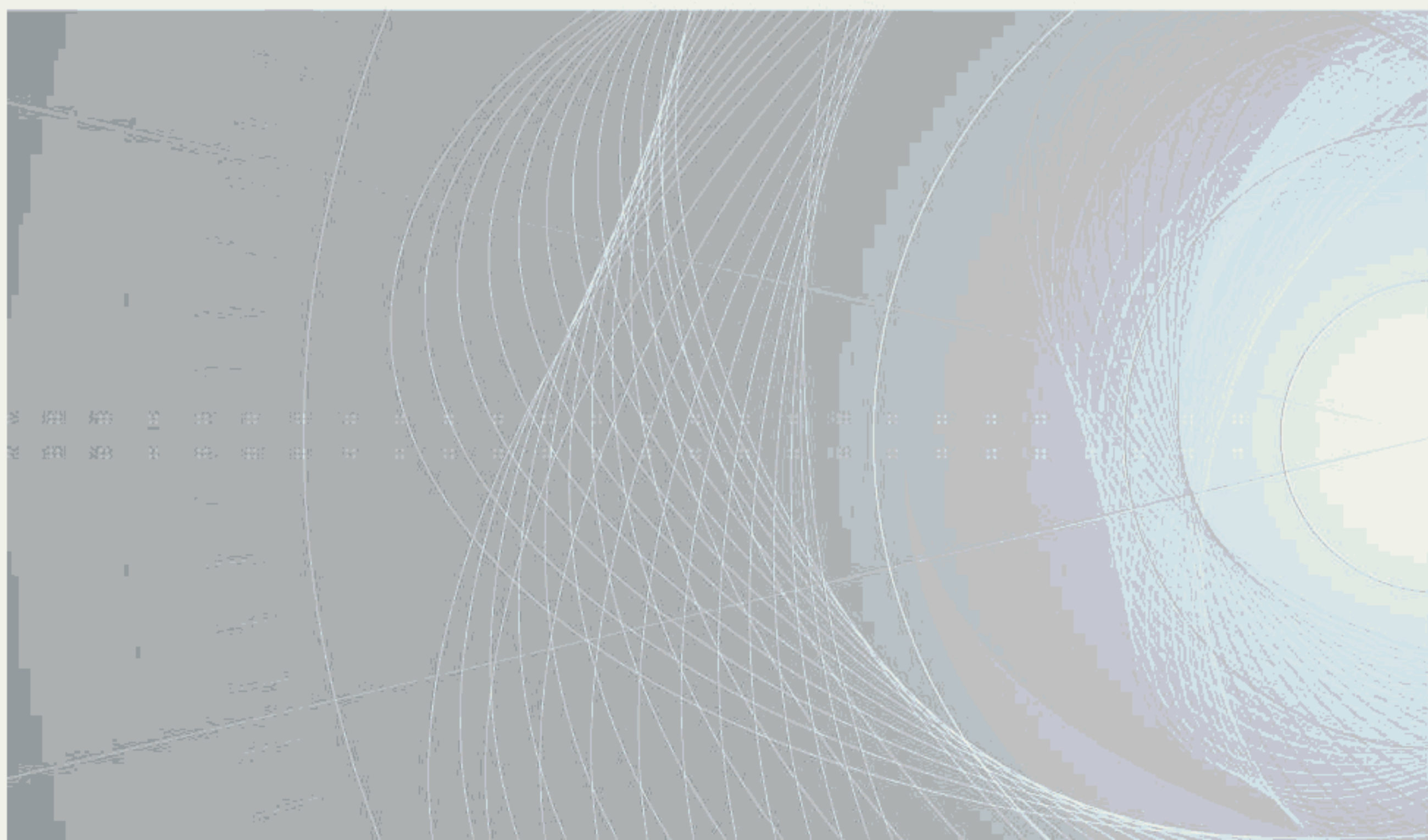
# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Photovoltaic (PV) modules – Non-uniform snow load testing**

**Modules photovoltaïques (PV) – Essais de charges de neige non uniformes**







## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembé  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

### A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.





IEC 62938

Edition 1.0 2020-05

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Photovoltaic (PV) modules – Non-uniform snow load testing**

**Modules photovoltaïques (PV) – Essais de charges de neige non uniformes**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-8074-4

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.**  
**Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**



## CONTENTS

FOREWORD .....	3
1 Scope .....	5
2 Normative references .....	5
3 Terms and definitions .....	6
4 Sampling .....	6
5 Prerequisites .....	7
6 Testing .....	7
6.1 General .....	7
6.2 Projections of the test results .....	7
6.3 Test plan .....	7
7 Test procedures .....	9
7.1 Visual inspection .....	9
7.2 Maximum power determination .....	9
7.3 Insulation test .....	9
7.4 Wet leakage current test .....	9
7.5 Humidity-freeze test .....	9
7.6 Electroluminescence imaging .....	9
7.7 Non-uniform snow load test .....	9
7.7.1 Purpose .....	9
7.7.2 Load specification .....	9
7.7.3 Apparatus .....	11
7.7.4 Procedure .....	13
8 Fail criteria .....	15
9 Verification of the test results .....	15
10 Statistical analysis .....	15
10.1 General .....	15
10.2 5 % fractile value with Student's distribution .....	16
10.3 Safety factor .....	16
10.4 Example.....	16
10.5 Quantiles of the $t$ distribution (Student's distribution) .....	16
11 Test report .....	17
12 Modifications .....	18
Annex A (informative) Use of determined values .....	19
A.1 Estimated snow loads and use of the determined resistance .....	19
A.2 Calculate the bearable loads for different angles .....	19
Bibliography .....	20
Figure 1 – Test plan for inhomogeneous snow load test .....	8
Figure 2 – Distribution of load on the test specimen at inclination .....	10
Figure 3 – Simplified cross-sectional view of module width along bottom frame .....	12
Figure 4 – Test procedure for the snow load test .....	14
Figure 5 – Different deflection graphs under static load .....	14
Table 1 – Applicable load in relation to angle of pitch of roof .....	10
Table 2 – Quantiles of the $t$ distribution (Student's distribution) .....	17

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES –  
NON-UNIFORM SNOW LOAD TESTING****FOREWORD**

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

International Standard IEC 62938 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
82/1670/FDIS	82/1705/RVD

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

## PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES – NON-UNIFORM SNOW LOAD TESTING

### 1 Scope

This document provides a method for determining how well a framed PV module performs mechanically under the influence of inclined non-uniform snow loads. This document is applicable for framed modules with frames protruding beyond the front glass surface on the lower edge after intended installation and as such creates an additional barrier to snow sliding down from modules. For modules with other frame constructions, such as backrails formed in frames, on the side edges, on the top edge and on the lower edge not creating an additional snow slide barrier, this document is not applicable.

The test method determines the mechanical non-uniform-load limit of a framed PV module.

The loads specified in this document apply exclusively to natural snow load distributions. Any expected artificial accumulations (e.g. from snow removal or redistribution) are considered separately.

Methods to eliminate or counteract the occurrence of inhomogeneous snow accumulation, such as a steep installation angle (more than 60°), are not included in this document. This document assumes a relationship between ground snow-cover and module snow-cover which may not be applicable in locations where the snow does not completely melt between snow falls. This document does not consider the effect of snow cover on power generation.

While the test method includes a wait time between load steps, the document does not provide a complete assessment of the fatigue behaviour of the materials of the module, such as front glass.

Because typical field failures of PV modules caused by snow load show glass breakage and frame bending, the test method aims at reproducing the load under which such failures occur.

### 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC TS 60904-13 :2018, *Photovoltaic devices – Part 13: Electroluminescence of photovoltaic modules*

IEC 61215-1:2016, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements*

IEC 61215-2:2016, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting*



### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC TS 61836 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1

##### **characteristic snow load**

$S_k$

characteristic value of snow on the ground

Note 1 to entry:  $S_k$  is expressed in  $\text{kN/m}^2$ .

Note 2 to entry: The lowest value for  $S_k$  used in this document is  $2,4 \text{ kN/m}^2$ .

#### 3.2

##### **characteristic value of snow load angle dependent snow load**

$S_A$

product of the characteristic snow load on the ground and the snow load shape coefficient

Note 1 to entry: The lowest value for  $S_A$  used in this document is  $1,47 \text{ kN/m}^2$ .

#### 3.3

##### **snow load shape coefficient**

$\mu_i$

ratio of the snow load on the roof or PV module to the undrifted snow load on the ground

#### 3.4

##### **specific snow weight**

$\gamma$

weight per unit volume of snow

Note 1 to entry: The specific snow weight  $\gamma$  is considered to be  $3 \text{ kN/m}^3$ .

#### 3.5

##### **snow load of the overhang**

$S_E$

load vertical to the eaves applied in addition to the uniform load on a roof

#### 3.6

##### **fractile value**

lower or upper bounds of a distribution function (Student's distribution, normal distribution, log normal distribution, etc.) which represents, in construction, strenghts or impacts

### 4 Sampling

At least seven PV modules are used for testing. Five or more modules are used to determine the maximum load bearing; one is used for determination of electrical degradation at a load below the determined maximum load bearing and one is used as a control module.

## 5 Prerequisites

The PV module type shall have passed the static mechanical load test (MQT 16) according to IEC 61215-2 with a minimum positive test load of 5 400 Pa.

## 6 Testing

### 6.1 General

These test specifications describe a test method for determining the direct load-bearing capability of framed PV modules under the effects of inhomogeneous snow loads.

### 6.2 Projections of the test results

Failure of the (adhesive) bond between module frame and glass/laminate can lead to

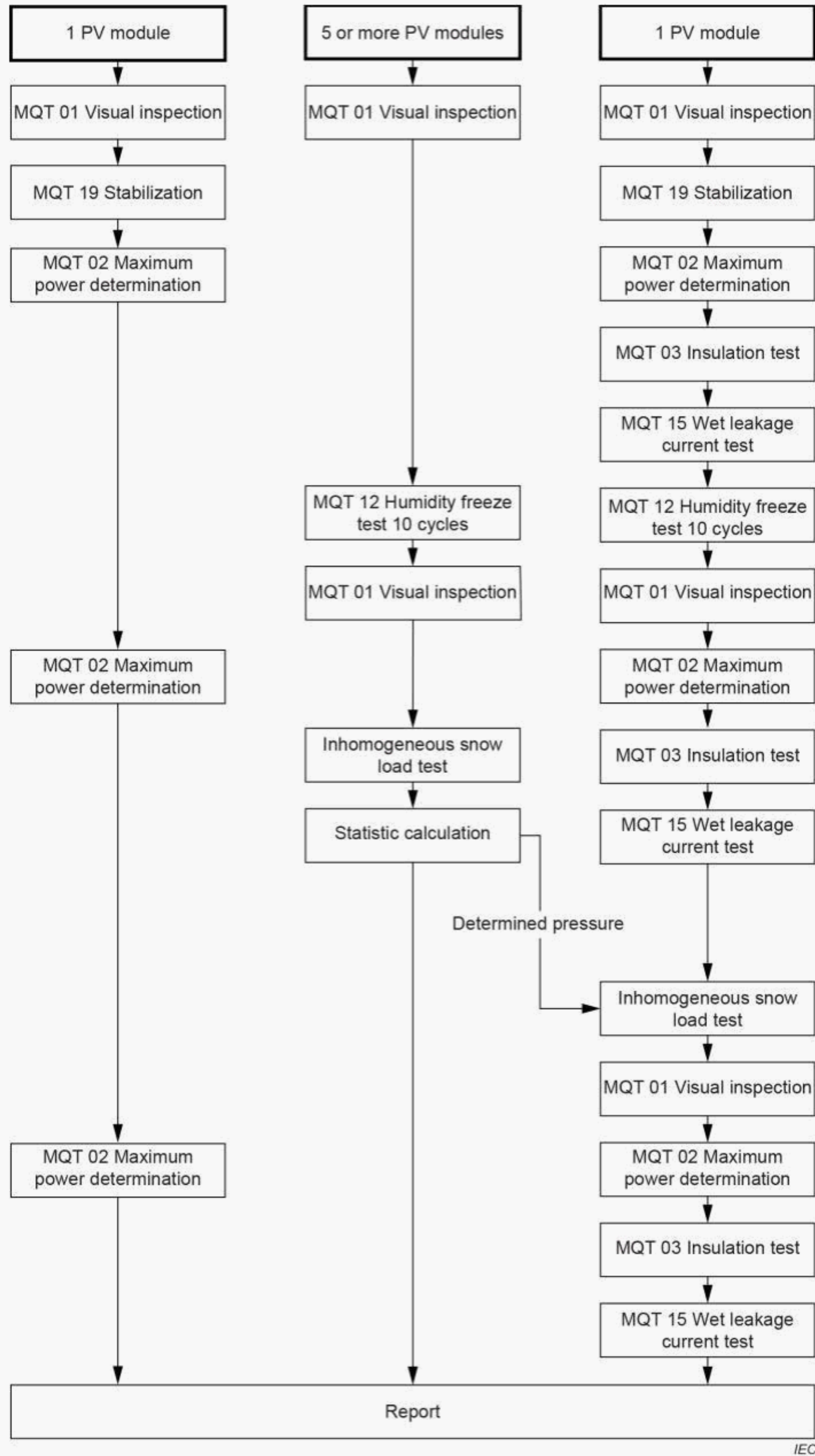
- deformation of the module rail or frame,
- glass breakage,
- displacement of rail or frame parts,
- fracture of rail or frame parts,
- loss of adhesion strength in adhesive bonds , and
- breakage or displacement of mounting parts.

In addition, this can impact electrical performance due to:

- interruption of the module's electrical insulation,
- cell breakage and junction box failure, and
- power degradation.

### 6.3 Test plan

Figure 1 shows the test flow where the numbers in the boxes represent the test references in IEC 61215-2. Five modules undergo the mechanical testing until failure as defined in Clause 8 occurs. A sixth module shall be used to determine the highest load bearing at which no power degradation > 5,0 % occurs.



NOTE The numbers in Figure 1 relate to the test references in IEC 61215-2:2016.

**Figure 1 – Test plan for inhomogeneous snow load test**



## **7 Test procedures**

### **7.1 Visual inspection**

This test is performed according to IEC 61215-2 MQT 01.

### **7.2 Maximum power determination**

This test is performed according to IEC 61215-2 MQT 02 after initial stabilization according to IEC 61215-2 MQT 19. For intermediate and final control measurements, further stabilization steps might be required dependent on the module technology. The maximum power determination is a relative measurement only; the measurements do not need to be performed at standard test conditions (STC).

### **7.3 Insulation test**

This test is performed according to IEC 61215-2 MQT 03.

### **7.4 Wet leakage current test**

This test is performed according to IEC 61215-2 MQT 15.

### **7.5 Humidity-freeze test**

This test is performed according to IEC 61215-2 MQT 12.

### **7.6 Electroluminescence imaging**

Accompanying the visual inspection, electroluminescence according to IEC 60904-13 imaging could be performed optionally on the electrical verification module to visualize cell cracking.

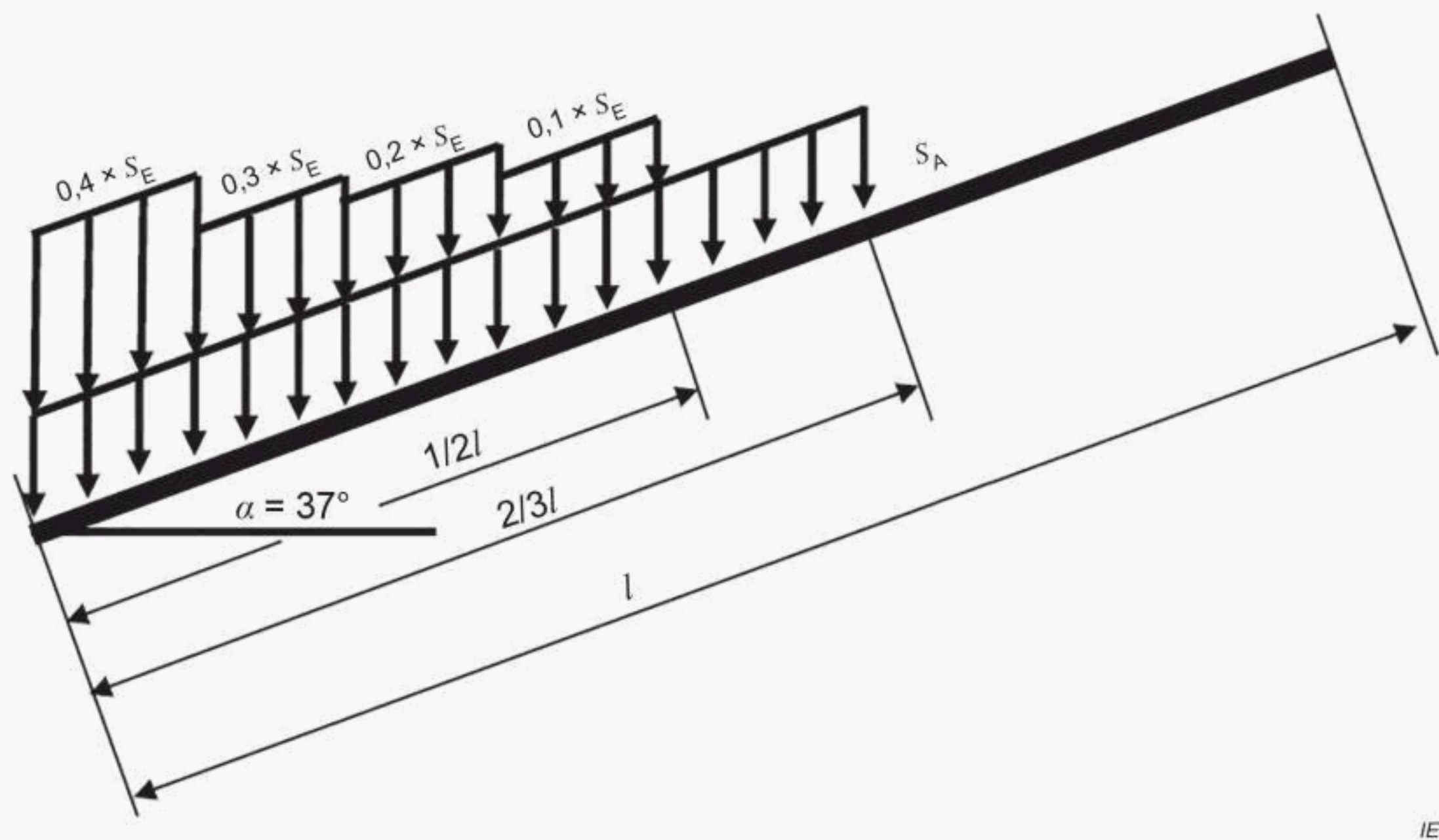
### **7.7 Non-uniform snow load test**

#### **7.7.1 Purpose**

This test specification describes a method for determining the direct load-bearing capability of inclined, framed PV modules under the effects of inhomogeneous snow loads.

#### **7.7.2 Load specification**

The inhomogeneous load distribution of the weights is determined by the diagram showed in Figure 2.



IEC

**Figure 2 – Distribution of load on the test specimen at inclination**

The load to be applied to the PV module and its distribution by means of separate weight elements is determined as a function of the characteristic snow load  $S_k$ , the module angle of inclination  $\alpha = 37^\circ \pm 1^\circ$ , the shape coefficient  $\mu_i$  as a substitute value for pitch roofs, and the linear load generated from  $S_E$  as a function of an assumed specific snow weight of  $\gamma = 3 \text{ kN/m}^2$ .

Here, it is assumed that the snow can slide off unhindered. For mono pitch roofs or PV modules, where the snow is not prevented from sliding off the roof, the values showed in Table 1 can be used (see also Annex A).

**Table 1 – Applicable load in relation to angle of pitch of roof**

Angle of pitch of roof $\alpha$	$0^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ$	0,0

At a test angle of  $37^\circ$ ,  $\mu_i = 0,61$  applies (this is considered as the most critical angle for snow slides).

The lower edge of the PV modules represent the eaves of a roof and hence this case needs to be considered in this document. The minimum of  $S_E$  is  $0,72 \text{ kN/m}$ .

$$S_E = S_{A2} / \gamma$$

where

$S_E$  is the snow load of the overhang depending on eaves, in  $\text{kN/m}$ ;

$S_A$  is the snow load on the roof, in  $\text{kN/m}^2$  ( $S_A = \mu_i \cdot S_k$ );

$\gamma$  is the specific snow weight, in  $\text{kN/m}^2$ .

The weight elements for  $S_A$  are distributed over the bottom area of the inclined module over a length of approximately, but not greater than,  $2/3$  of the vertical length of the module (  $l$  ).

The weight elements for  $S_E$  are distributed over the bottom area of the inclined module over a length of approximately, but not greater than, 1/2 of the vertical length of the module ( $l$ ).

Quasi- triangle PV for the hipped and/or broach roof, and roof shingle PV which has very short vertical length are out of scope, because it is assumed less impact of snow slide.

The subsequent load increases shall be applied as angle-dependent loads per area. Each load corresponds to the angle-dependent pressure given the shape coefficient (example: in the first step, 2,4 kN/m<sup>2</sup> corresponds to an angle-dependent pressure of 1,47 kN/m<sup>2</sup> at 37° (±1°) inclination angle, as defined in Formula (1).

$$SA = SK \cdot \mu_i \quad (1)$$

The linear load  $S_E$  is then calculated and increased according Formula (2):

$$S_E = (SA^2/\gamma) \quad (2)$$

To calculate the force which can then distributed inhomogeneously according to Figure 2, the result needs to be multiplied with the factors out of Figure 2 and the bottom length of the module  $L_b$ .

$$\text{Example: Additional force for the bottom segment} = 0,4 \cdot \frac{SA^2}{\gamma} \cdot L_b$$

The initial load with which all tests begin is derived from the minimum design qualification of PV modules according to the static mechanical load test (MQT 16) of IEC 61215-2.

The initial load corresponds to the combination of characteristic snow load  $SK$  of 2 400 Pa and linear load  $S_E$ . In this example:

$$SK = 2,4 \text{ kN/m}^2 \quad (3)$$

$$SA = \text{angle-dependent load at } 37^\circ = 1,47 \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

$$S_E = 0,72 \text{ kN/m} \quad (5)$$

The weight elements used shall be able to slide on the surface of the module with as little friction as achievable. For example, a polytetrafluoroethylene, PTFE surface on the weight elements is suitable.

For each total load, it shall be ensured that the individual weight elements be placed according to the distribution shown in Figure 2. Further weight elements (e.g. weight disks) are placed on the bottom half of the module to form the linear load  $S_E$  per Figure 2, in order to ensure a simulated "bulging" snow accumulation. A deviation of the distribution of up to ±10 % can be tolerated.

### 7.7.3 Apparatus

The test bench has a substructure on which PV modules can be mounted at 37° ± 1° as specified by the manufacturer.



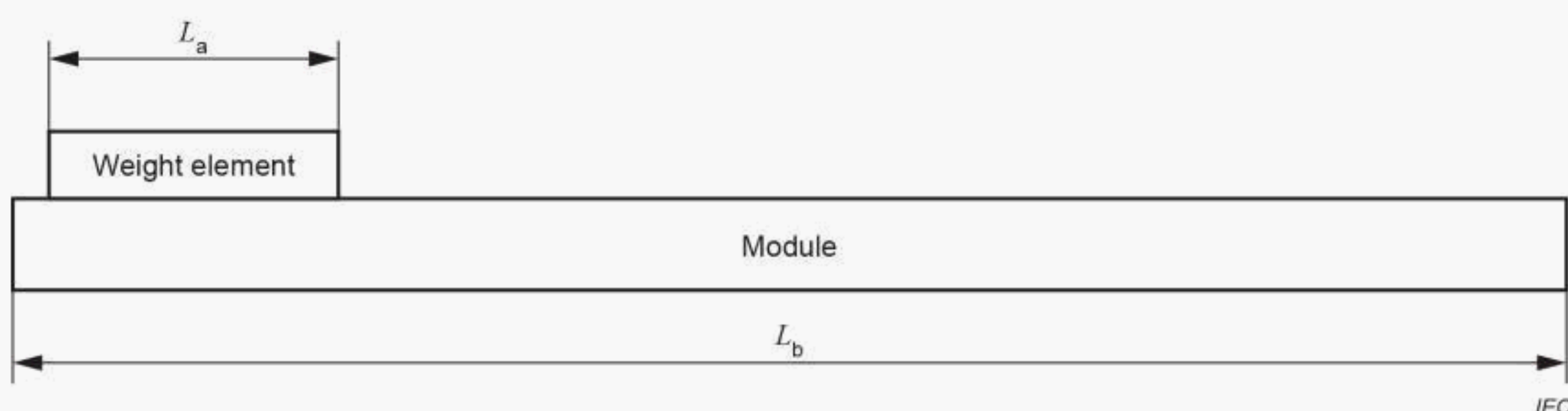
As seen in Figure 3, the effective length of a weight element acting on the frame is designated by the symbol  $L_a$ .

The width of the PV module is designated by the symbol  $L_b$ .

To achieve a sufficiently high homogeneity of the surface load (weight element/module area) and a sufficiently high number of contact points (weight element/frame), the following conditions shall be fulfilled:

Homogeneity of the surface load: 
$$\frac{\sum L_a}{L_b} \geq 90 \% \quad (6)$$

Number of contact points: 
$$\frac{L_b}{L_a} \geq 5 \quad (7)$$



**Figure 3 – Simplified cross-sectional view of module width along bottom frame**

The weight elements shall be designed such that the load is introduced in planar form, homogeneously and without torque to the module's surface.

The contact between the module frame and the weight element shall be form-fitted.

It shall be ensured that the downhill-slope force is transmitted to the module bottom frame member.

The contact of the bottom of the weight element and the module surface shall be realised with as little friction as possible.

Two neighbouring weight elements shall be placed with sufficient space in-between them to avoid them getting stuck to each other when the frame bends and the module surface deflects.

Abrasion or scratching of the module surface due to weight elements sliding shall be avoided.

For safety reasons, the weight elements shall be secured against falling down. The fixation of the loads shall not hinder the loads to fully lie on the PV module.

The test apparatus shall be equipped with means to monitor movements in the joint between frame and laminate (bending of the frame).

#### 7.7.4 Procedure

The module to be loaded is mounted on the test bench as specified in the instruction manual of the supplier. Installations with clamping along the long frame side usually use cross bars as the substructure. Bending of the module under load may cause the backsheet to touch the substructure. This real condition shall be represented in the test set-up (no free bending on the test bench, if in reality such bending is prevented by the sub-structure).

The environmental conditions for performing the tests are  $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

As most adhesives will perform worse under elevated temperatures, room temperature is considered to be a worst case condition for testing. If the adhesive used for a particular module type is known to perform better at room temperature, the test shall be performed at  $0\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

The test procedure shall be as followed (see also Figure 4).

Apply an initial load of  $S_K = 2\,400\text{ Pa}$  for at least 24 h. After these 24 h, three cases are distinguished:

- Case 1: no movement in the frame is visible since the initial setting. The load shall be increased to the next load step for at the least 30 min. Once no movement is visible for at least 15 min, the load shall be increased further. Repeat this procedure until the module fails. Then start with next module with the initial load.
- Case 2: the deflection over time graph (see Figure 5) shows a change in gradient within the 24 h but is stable for at least 15 min towards the end. If no movement is visible for at least 15 min, the next load step shall be applied for at least 1 h. Repeat this procedure waiting at least 1 h for stabilization for each load step and 4 h for each 5<sup>th</sup> load step, until the module fails. Then start with next module with the initial load.
- Case 3: movement in the frame is still visible. Wait until movement stops. If no stable situation arises and the module fails, the test series shall be stopped. If no movement is visible for at least 15 min, the next load step shall be applied for at least 1 h. Repeat this procedure waiting for stabilization for at least 1 h for each load step and 4 h for each 5<sup>th</sup> load step, until the module fails. Then start with next module with the initial load.

Examples for case 1, case 2 and case 3 movement over time are given in Figure 5. Furthermore, the following steps shall be followed:

- a) document the test setup in unloaded condition and at each load step with a photograph;
- b) determine the load distribution as defined in 7.7.2;
- c) document the date and time for the impression of the load steps;
- d) record movements with an accuracy of at least  $\pm 0,5\text{ mm}$  at least every five minutes during the first and last hour for the initial 24 h load application, and continuously for subsequent load steps;
- e) the load increments shall be applied in steps of  $S_K + 200\text{ Pa}$ .

A visible change is defined as a change of at least 1,0 mm measured at any of the following points:

- $\frac{1}{2} \cdot L_b$  of the bottom frame member, in the direction of the module plane;
- on the left and the right ends of the bottom frame member, in the direction of the module plane.

1

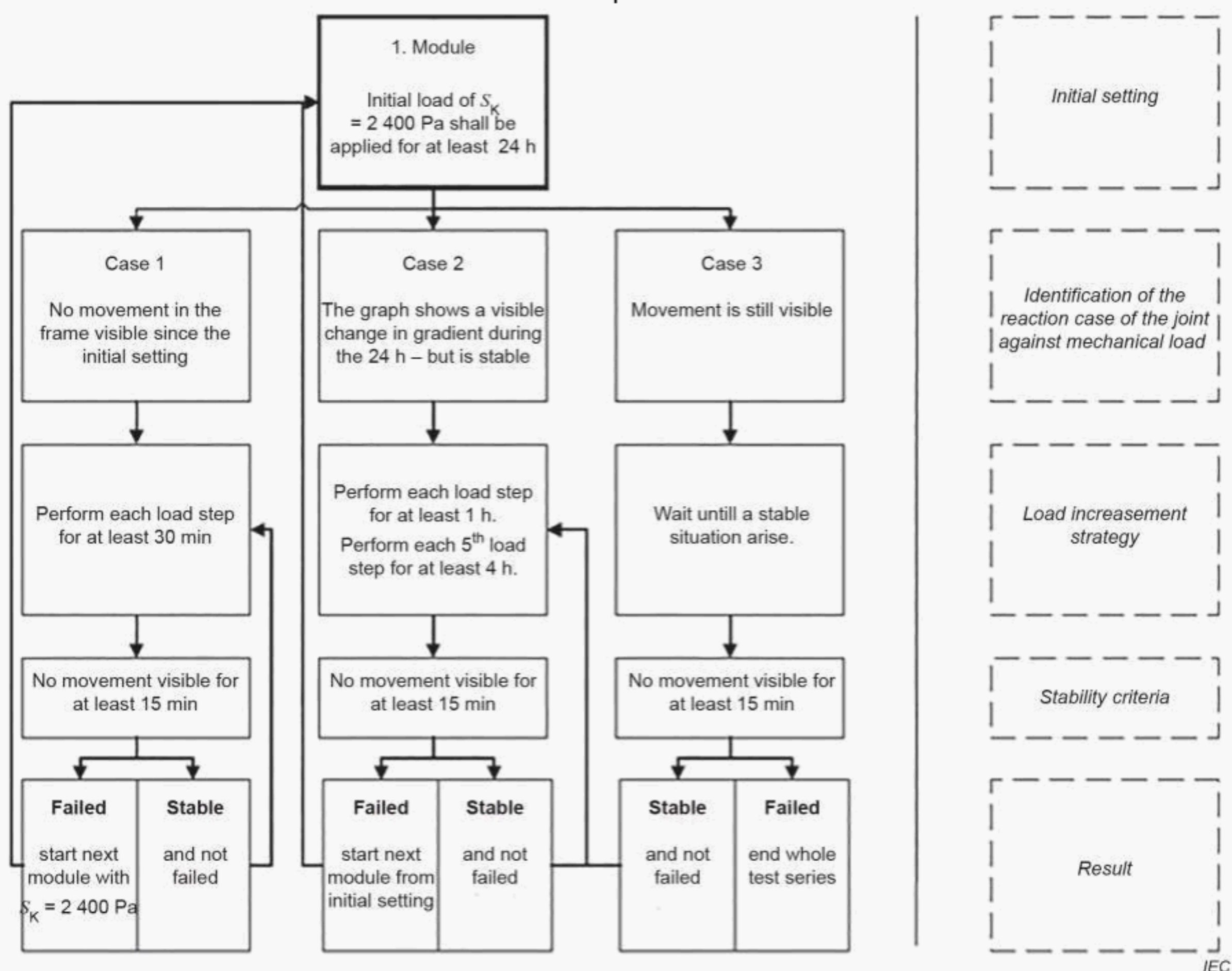
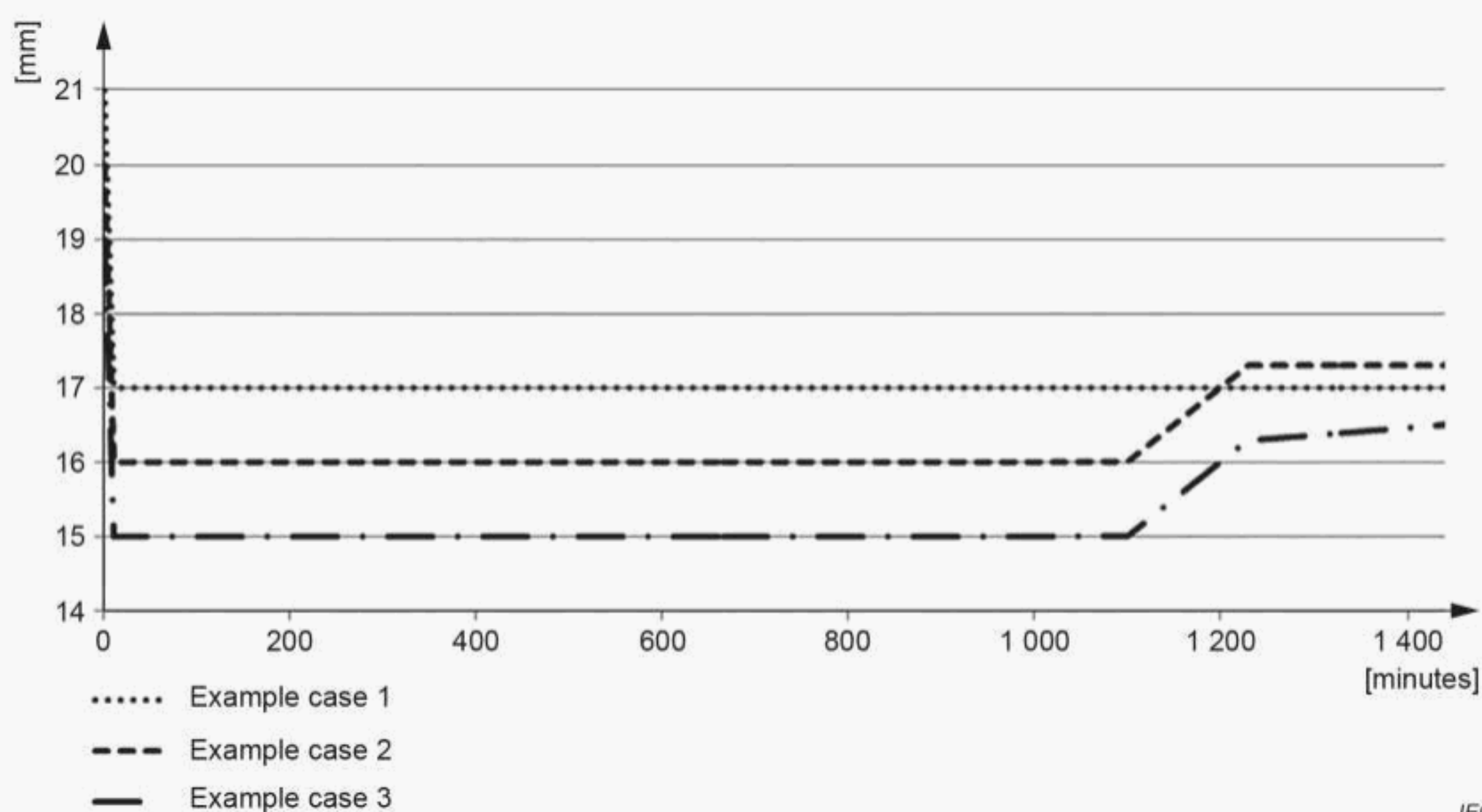


Figure 4 – Test procedure for the snow load test



NOTE Due to different frame adhesive techniques, different reactions to a static load are possible. Three example graphs are shown in Figure 5, representing the three reaction cases introduced in Figure 4.

Figure 5 – Different deflection graphs under static load



If failure occurs while a new load level is being applied, the previous load level qualifies as the failure limit.

This test sequence is performed on a total of at least 5 modules.

## 8 Fail criteria

The following types of damages are considered to be a test failure:

- a) broken, cracked, or torn external surfaces, including superstrates, substrates, frames, rails and junction boxes;
- b) bent or misaligned external surfaces (permanent deformation), including superstrates, substrates, frames, rails and junction boxes to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired;
- c) loss of mechanical integrity, to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired.
- d) failure of the sixth module (used for the determination of the electrical degradation in the right leg of Figure 1) to meet the requirements of IEC 61215-2 MQT 03 and MQT 15. as well as exceeding a maximum power degradation of 5 % following the formula given in IEC 61215-1:2016, 7.2.2.

## 9 Verification of the test results

The load limit values  $X$  are determined according to the calculation rules defined in Clause 10 and converted to the 5 % fractile value  $X_5$  %. This fractile value is then divided by a safety factor of 1,5.

At a fractile value of 5 %, for example, only 5 % of the components fail to attain the minimum strength.

The inhomogeneous load test is performed on a sixth PV module for at least 24 h with the computed load value (5 % fractile value divided by the safety factor). In addition, before and after the inhomogeneous snow load test, the diagnostic measurements of IEC 61215-2 are performed (insulation test, wet leakage current test, determination of output power). The maximum permitted degradation of maximum output power from before to after the inhomogeneous load test is 5,0 %.

If the power loss is greater than 5,0 %, or the modules fails in the diagnostic insulation test or wet leakage current the test may be repeated on another PV module that was also pre-conditioned with the humidity-freeze test. A higher safety factor shall then be applied, however. The following safety factor shall be increased in steps of 0,25 until no failure occurs.

## 10 Statistical analysis

### 10.1 General

The following computational steps shall be performed for the statistical analysis of the component test.

## 10.2 5 % fractile value with Student's distribution

Formula (8) shall be used to determine the load limit at which statistically 5 % of the specimens fail:

$$X_{5\%} = \bar{x} - t_{n-1,\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

where

$t_{n-1,\alpha}$  is the factor of the Student's distribution at  $\alpha = 0,95$ ;

$n$  is the number of samples (5);

$S$  is the standard deviation.

## 10.3 Safety factor

For measuring the actual load capacity, the 5 % fractile value shall be divided by a safety factor. For this document, as components susceptible to vibrations and subject to dynamic loads, a safety factor of 1,5 is used, unless a higher safety factor is needed per Clause 9.

## 10.4 Example

The load bearing determination sequence test determined the following values (the given values are assumption from a fictive project):

- 3 652 Pa;
- 2 700 Pa;
- 4 025 Pa;
- 3 700 Pa;
- 4 250 Pa.

Mean value = 3 665 Pa.

Standard deviation =  $S = 530$  Pa.

$t_{n-1,\alpha} = 2,13$

5 % fractile value = 3 160 Pa  $t_{n-1,\alpha}$ .

Division by the safety factor of 1,5 gives a final load value of 2 107 Pa.

Verification of the test results per Clause 9 is performed at this final load value.

## 10.5 Quantiles of the $t$ distribution (Student's distribution)

The degree of freedom to be read off corresponds to the number of the tests  $(n - 1)$  at the required confidence interval of 0,95 (see Table 2).

**Table 2 – Quantiles of the  $t$  distribution (Student's distribution)**

Degree of freedom	$(m - 1, \alpha)$ at $\alpha = 0,95$	Degree of freedom	$(m - 1, \alpha)$ at $\alpha = 0,95$
1 (with 2 test specimens)	6,314	11 (with 12 test specimens)	1,796
2 (with 3 test specimens)	2,920	12 (with 13 test specimens)	1,782
3 (with 4 test specimens)	2,353	13 (with 14 test specimens)	1,771
4 (with 5 test specimens)	2,132	14 (with 15 test specimens)	1,761
5 (with 6 test specimens)	2,015	15 (with 16 test specimens)	1,753
6 (with 7 test specimens)	1,943	16 (with 17 test specimens)	1,746
7 (with 8 test specimens)	1,895	17 (with 18 test specimens)	1,740
8 (with 9 test specimens)	1,860	18 (with 19 test specimens)	1,734
9 (with 10 test specimens)	1,833	19 (with 20 test specimens)	1,729
10 (with 11 test specimens)	1,812	20 (with 21 test specimens)	1,725

Corresponding to the number of test samples used for the load bearing determination sequence, the value of  $(m - 1, \alpha)$  shall be chosen from Table 2 to be used in Formula (8).

## 11 Test report

Following determination of the non-homogeneous load limit, a report of the tests, with measured performance characteristics and details of any failures and re-tests, shall be prepared by the test laboratory. The report shall contain the detail specification for the module. Each test report shall include at least the following information:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the test report (each page);
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item tested;
- f) characterization and condition of the test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) reference to sampling procedure, where relevant;
- i) photo documentation;
- j) information about the relevant components or dimensions:
  - frame (type designation, material, dimensions, manufacturer);
  - backsheet (type designation, material, manufacturer);
  - glass (type designation, material, dimensions, manufacturer);
  - adhesive between glass and frame (type designation, material, dimensions, manufacturer);
  - clamps or screws being used to mount the module (type / dimensions);
  - mounting system or method (type designation, material, dimensions, manufacturer);
  - clamping or mounting points;
- k) time for each load step (impression of the loads and load);
- l) applied pressure at point of failure of each sample, in Pascal;
- m) angle at which the test was performed and angle/load combinations as determined according to Clause A.2;



- n) final load value;
- o) any deviations from, additions to or exclusions from the test method, and any other information relevant to specific tests, such as environmental conditions;
- p) a statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant);
- q) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- r) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- s) a statement that the report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

A copy of this report shall be kept by the manufacturer for reference purposes.

## **12 Modifications**

Changes in material selection, components and manufacturing process can impact the qualification of the modified product.

Retesting shall be performed according to IEC TS 62915. The recommended test sequences have been selected to identify adverse changes to the modified product.

The number of samples to be included in the retesting program and the pass/fail criteria are to be taken from the relevant clauses/subclauses of this document.

## Annex A (informative)

### Use of determined values

#### A.1 Estimated snow loads and use of the determined resistance

The estimated local snow load is commonly described in the national annexes of the structural standards or through references in local building codes. The load value determined from this inhomogeneous snow load test can be used in static calculations for the resistance side if accepted by the local code authority.

In absence of national requirements, the European code EN 1991-1-3 can act as a guideline. Here, snow loads are defined as a function of the local altitudes above sea level (in m). Alternatively, corresponding snow loads can be obtained from regional snow load maps for the area where PV modules will be installed.

#### A.2 Calculate the bearable loads for different angles

To calculate the bearable load for other angles, the following formulae shall be used:

$$\text{For } \alpha: 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ: \frac{\text{final load}}{0,61} \cdot 0,8 \quad (\text{A.1})$$

$$\text{For } \alpha: 30^\circ < \alpha < 60^\circ: \frac{\text{final load}}{0,61} \cdot 0,8 \cdot \left( \frac{60^\circ - \alpha}{30^\circ} \right) \quad (\text{A.2})$$

$$\text{For } \alpha: \alpha \geq 60^\circ: \frac{\text{final load}}{0,61} \quad (\text{A.3})$$

## Bibliography

EN 1991-1-3:2010, *Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads*

---











## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	23
1 Domaine d'application .....	25
2 Références normatives .....	25
3 Termes et définitions .....	26
4 Echantillonnage .....	27
5 Conditions préalables .....	27
6 Essais .....	27
6.1 Généralités .....	27
6.2 Projections des résultats d'essai .....	27
6.3 Plan d'essai .....	27
7 Procédures d'essai .....	29
7.1 Examen visuel .....	29
7.2 Détermination de la puissance maximale .....	29
7.3 Essai diélectrique .....	29
7.4 Essai de courant de fuite en milieu humide .....	29
7.5 Essai humidité-gel .....	29
7.6 Imagerie par électroluminescence .....	29
7.7 Essai de charges de neige non uniformes .....	29
7.7.1 Objet .....	29
7.7.2 Spécification de la charge .....	29
7.7.3 Appareillage .....	32
7.7.4 Procédure .....	33
8 Critères de rejet .....	35
9 Vérification des résultats d'essai.....	35
10 Analyse statistique .....	36
10.1 Généralités .....	36
10.2 Valeur fractile de 5 % avec distribution de Student .....	36
10.3 Facteur de sécurité .....	36
10.4 Exemple.....	36
10.5 Quantiles de la distribution $t$ (distribution de Student) .....	37
11 Rapport d'essai .....	37
12 Modifications .....	38
Annexe A (informative) Utilisation des valeurs déterminées .....	39
A.1 Charges de neige estimées et utilisation de la résistance déterminée .....	39
A.2 Calcul des charges portantes selon différents angles .....	39
Bibliographie .....	40
Figure 1 – Plan d'essai de surcharges de neige hétérogènes .....	28
Figure 2 – Répartition de la charge sur l'éprouvette soumise à une inclination .....	30
Figure 3 – Vue en coupe simplifiée de la largeur d'un module le long du cadre inférieur .....	32
Figure 4 – Procédure d'essai de surcharges de neige hétérogènes .....	34
Figure 5 – Différents graphiques de déformation sous une charge statique .....	35
Tableau 1 – Charge applicable relative à l'angle du toit avec l'horizontale .....	30
Tableau 2 – Quantiles de la distribution $t$ (distribution de Student) .....	37

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) –  
ESSAIS DE CHARGES DE NEIGE NON UNIFORMES****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62938 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1670/FDIS	82/1705/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.



## MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) – ESSAIS DE CHARGES DE NEIGE NON UNIFORMES

### 1 Domaine d'application

Le présent document fournit une méthode pour déterminer le comportement mécanique d'un module photovoltaïque (PV) encadré sous l'effet de charges de neige non uniformes. Le présent document s'applique aux modules encadrés dont les cadres dépassent de la façade vitrée avant au niveau du rebord inférieur lorsqu'ils se trouvent dans la position de montage prévue, ce qui crée une barrière supplémentaire contre les glissements de neige accumulée sur les modules. Le présent document ne s'applique pas aux modules reposant sur d'autres constructions de cadre, par exemple les rails arrière qui sont mis en œuvre dans les cadres, sur les rebords latéraux, sur le rebord supérieur et sur le rebord inférieur, mais qui n'empêchent pas les glissements de neige.

La méthode d'essai détermine la limite mécanique d'un module photovoltaïque encadré aux charges de neige non uniformes.

Les charges spécifiées dans le présent document s'appliquent exclusivement aux schémas de répartition naturelle des charges de neige. Les accumulations artificielles attendues (faisant suite à l'enlèvement ou à une redistribution de la neige, par exemple) font l'objet d'une étude distincte.

Les méthodes visant à empêcher ou à éliminer la survenue d'accumulations de neige hétérogènes, telles que l'utilisation d'un angle de pose prononcé (supérieur à 60°), ne sont pas incluses dans le présent document. Le présent document admet par hypothèse l'existence d'une relation entre la couverture neigeuse au sol et la couverture neigeuse sur le module qui peut ne pas être applicable sur les sites, où la neige ne fond pas totalement entre les épisodes de chute de neige. Le présent document ne tient pas compte de l'effet de la couverture neigeuse sur la production d'électricité.

Même si la méthode d'essai applique un temps d'attente entre les différents paliers de charge, le présent document ne fournit pas une évaluation complète du comportement en fatigue des matériaux du module (façade vitrée avant, par exemple).

En raison des défaillances qui affectent couramment les modules PV sur le terrain, sous l'effet des charges de neige (bris de verre, déformation par flexion du cadre, par exemple), la méthode d'essai vise à reproduire la charge dans laquelle se produisent de telles défaillances.

### 2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC TS 60904-13 :2018, *Photovoltaic devices – Part 13: Electroluminescence of photovoltaic modules* (disponible en anglais seulement)

IEC 61215-1:2016, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1: Exigences d'essai*

IEC 61215-2:2016, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 2: Procédures d'essai*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting* (disponible en anglais seulement)

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC TS 61836, ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1

##### **charge de neige caractéristique**

$S_k$

valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol

Note 1 à l'article:  $S_k$  est exprimé en  $\text{kN/m}^2$ .

Note 2 à l'article: La valeur la plus faible de  $S_k$  utilisée dans le présent document est  $2,4 \text{ kN/m}^2$ .

#### 3.2

##### **valeur caractéristique de la charge de neige**

##### **charge de neige sensible à l'angle**

$S_A$

produit de la charge de neige caractéristique sur le sol et du coefficient de forme de la charge de neige

Note 1 à l'article: La valeur la plus faible de  $S_A$  utilisée dans le présent document est  $1,47 \text{ kN/m}^2$ .

#### 3.3

##### **coefficient de forme de la charge de neige**

$\mu_i$

rapport de la charge de neige sur la toiture ou sur le module PV à la charge de neige sur le sol avant accumulation

#### 3.4

##### **poids spécifique de la neige**

$\gamma$

poids par unité de volume de neige

Note 1 à l'article: Le poids spécifique de la neige  $\gamma$  est, par hypothèse, égal à  $3 \text{ kN/m}^3$ .

#### 3.5

##### **charge de neige en débord**

$S_E$

charge verticale exercée sur l'avant-toit, qui s'ajoute à la charge uniforme présente sur une toiture

### 3.6

#### **valeur fractile**

limites basses et hautes d'une distribution de fonction (distribution de Student, distribution normale, distribution logarithmique normale, etc.) représentant, dans le secteur de la construction, les forces ou impacts

## 4 Echantillonnage

Au moins sept modules PV sont utilisés pour les essais. Cinq modules ou plus sont utilisés pour la détermination de la portance maximale; un module est utilisé pour déterminer la dégradation des performances électriques sous une charge inférieure à la portance maximale déterminée et un module est utilisé comme module témoin.

## 5 Conditions préalables

Le type de module PV doit avoir réussi l'essai de charge mécanique statique (MQT 16) conformément à l'IEC 61215-2 avec une charge d'essai positive minimale de 5 400 Pa.

## 6 Essais

### 6.1 Généralités

Ces spécifications d'essai décrivent une méthode d'essai pour déterminer la capacité portante directe des modules PV encadrés sous l'effet de charges de neige hétérogènes.

### 6.2 Projections des résultats d'essai

Une défaillance du collage (adhésif) entre le cadre du module et le panneau en verre/stratifié peut conduire à:

- une déformation du rail ou du cadre du module;
- un bris de verre;
- un déplacement des éléments du rail ou du cadre;
- la fracture des éléments du rail ou du cadre;
- une perte de la force d'adhérence des collages adhésifs;
- la rupture ou un déplacement des éléments de fixation.

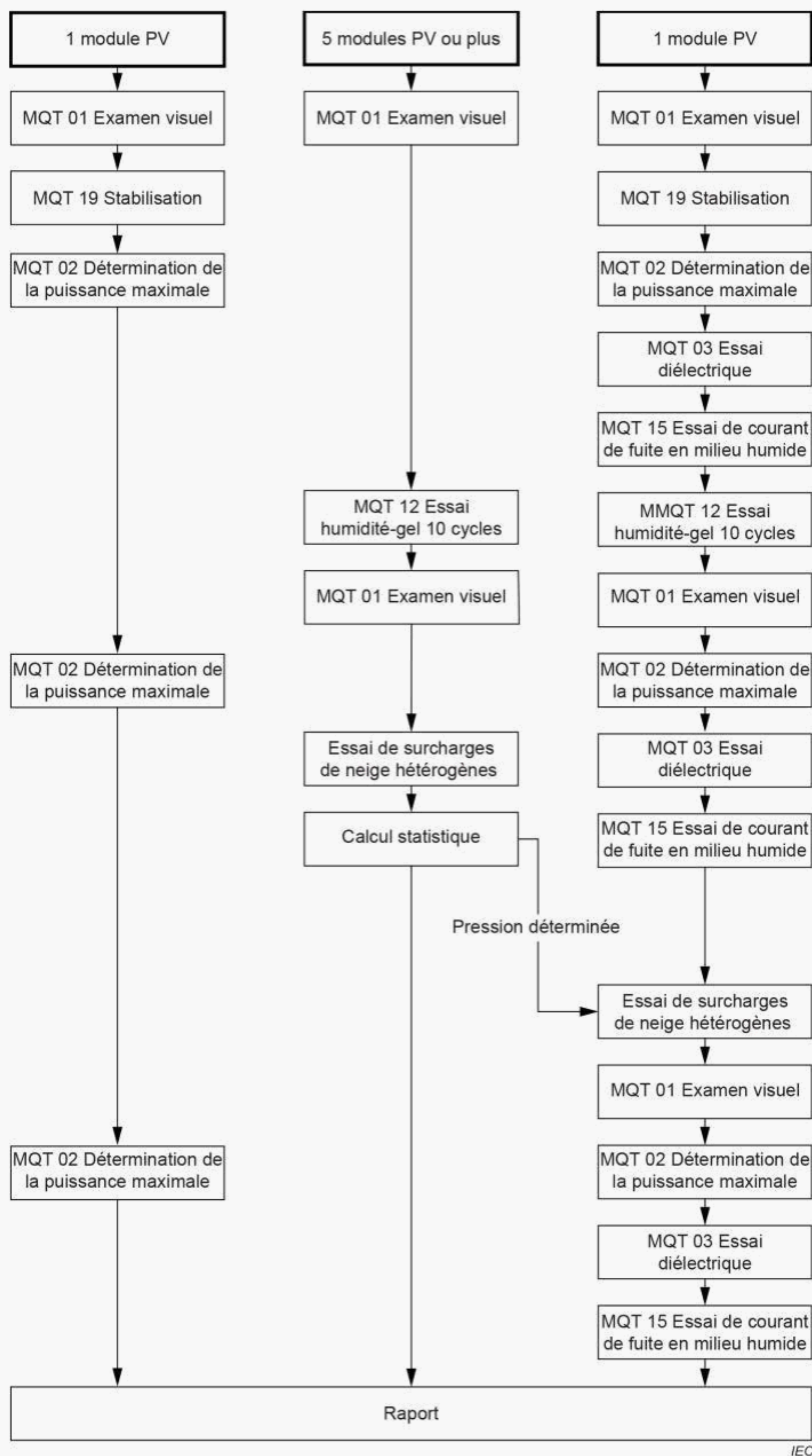
En outre, ces défaillances peuvent avoir un impact sur les performances électriques, faisant suite à:

- une discontinuité de l'isolation électrique du module;
- la rupture des cellules et la défaillance de la boîte de jonction;
- la dégradation de la puissance.

### 6.3 Plan d'essai

La Figure 1 représente la séquence d'essai, où les chiffres figurant dans les zones se réfèrent aux références d'essais de l'IEC 61215-2. Cinq modules sont soumis aux essais mécaniques jusqu'à ce que la défaillance définie à l'Article 8 se produise. Un sixième module doit être utilisé afin de déterminer la portance maximale à laquelle aucune dégradation de puissance > 5,0 % ne survient.





NOTE Les chiffres de la Figure 1 se réfèrent aux références d'essais de l'IEC 61215-2:2016.

**Figure 1 – Plan d'essai de surcharges de neige hétérogènes**

## **7 Procédures d'essai**

### **7.1 Examen visuel**

Cet essai est effectué conformément à l'IEC 61215-2 MQT 01.

### **7.2 Détermination de la puissance maximale**

Cet essai est effectué conformément à l'IEC 61215-2 MQT 02 après une stabilisation initiale conformément à l'IEC 61215-2 MQT 19. Pour les mesurages de contrôle intermédiaires et finaux, il peut être nécessaire d'appliquer des paliers de stabilisation supplémentaires selon la technologie de module employée. La détermination de la puissance maximale est un mesurage relatif seulement; il n'est pas nécessaire de réaliser les mesurages dans des conditions normales d'essai (STC, *standard test condition* ).

### **7.3 Essai diélectrique**

Cet essai est effectué conformément à l'IEC 61215-2 MQT 03.

### **7.4 Essai de courant de fuite en milieu humide**

Cet essai est effectué conformément à l'IEC 61215-2 MQT 15.

### **7.5 Essai humidité-gel**

Cet essai est effectué conformément à l'IEC 61215-2 MQT 12.

### **7.6 Imagerie par électroluminescence**

Conjointement à l'examen visuel, la électroluminescence conformément à l'IEC 60904-13 technique d'imagerie peut être employée sur le module de vérification électrique afin de visualiser la fissuration des cellules.

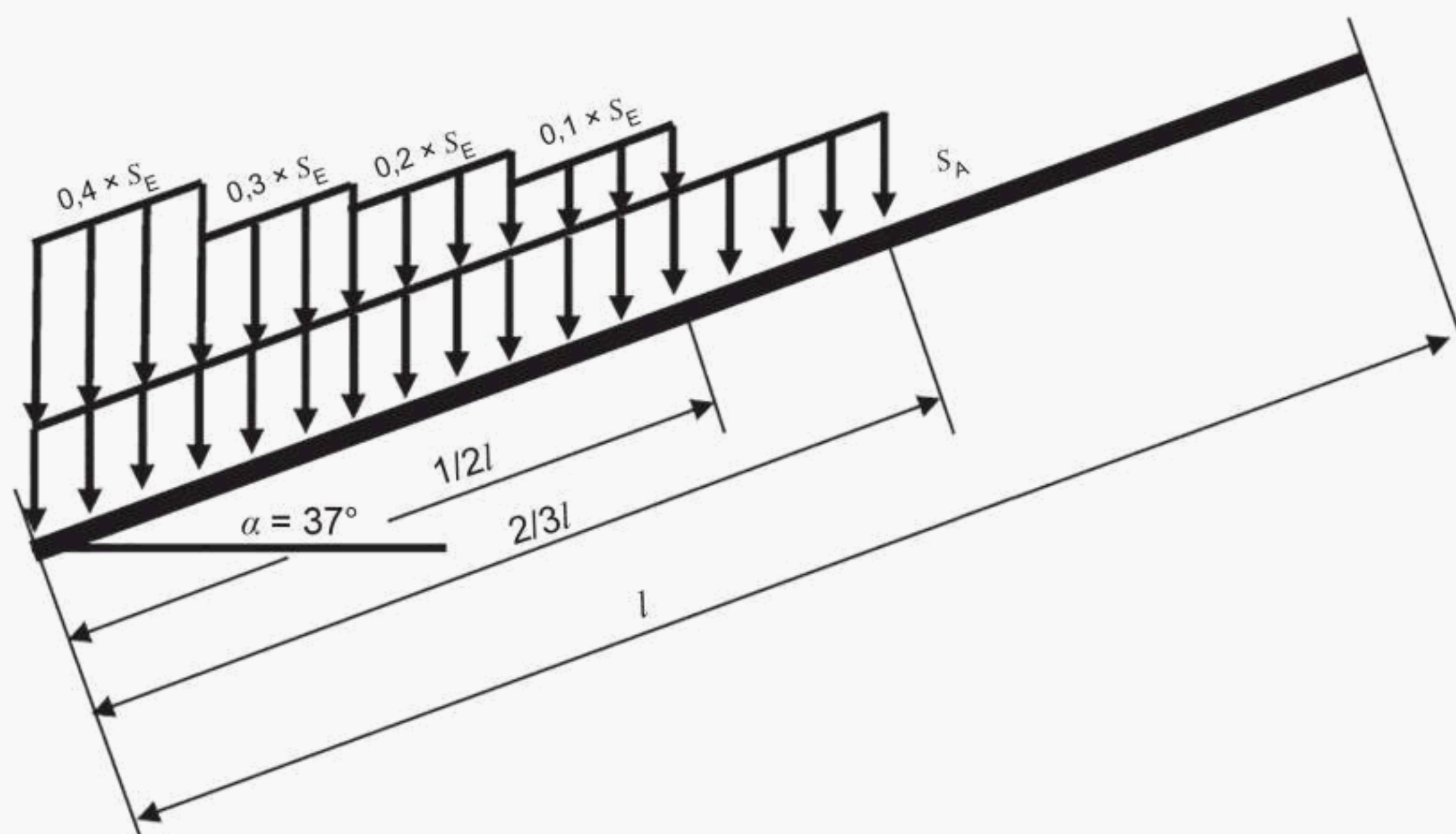
### **7.7 Essai de charges de neige non uniformes**

#### **7.7.1 Objet**

Cette spécification d'essai décrit une méthode pour déterminer la capacité portante directe des modules PV encadrés inclinés sous l'effet de charges de neige hétérogènes.

#### **7.7.2 Spécification de la charge**

Les éléments de poids assurent une répartition hétérogène de la charge suivant le schéma présenté à la Figure 2.



IEC

**Figure 2 – Répartition de la charge sur l'éprouvette soumise à une inclinaison**

La charge à appliquer sur le module PV et la répartition de cette charge au moyen d'éléments de poids sont déterminées en fonction de la charge de neige caractéristique  $S_k$ , de l'angle d'inclinaison du module  $\alpha = 37^\circ \pm 1^\circ$ , du coefficient de forme  $\mu_i$  utilisé comme valeur de substitution pour les toitures à deux versants, ainsi que la charge linéaire générée sous forme d'une fonction d'une masse de neige spécifique de  $\gamma = 3 \text{ kN/m}^2$ .

Ici, l'hypothèse admise est que la neige peut glisser librement. Pour les toitures à un seul versant et les modules PV, où aucun dispositif n'empêche la neige de glisser de la toiture, les valeurs du Tableau 1 peuvent être utilisées (voir également Annexe A).

**Tableau 1 – Charge applicable relative à l'angle du toit avec l'horizontale**

Angle du toit avec l'horizontale $\alpha$	$0^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ$	0,0

A un angle d'essai de  $37^\circ$ , la valeur  $\mu_i = 0,61$  s'applique (cet angle correspond à l'angle le plus déterminant pour les glissements de neige).

Le rebord inférieur des modules PV constitue l'avant-toit d'une toiture; c'est pourquoi il est nécessaire de prendre en compte ce cas dans le présent document. La valeur minimale de  $S_E$  est  $0,72 \text{ kN/m}$ .

$$S_E = S_A^2 / \gamma$$

où

$S_E$  est la charge de neige en débord selon l'avant-toit, en  $\text{kN/m}$ ;

$S_A$  est la charge de neige sur la toiture, en  $\text{kN/m}^2$  ( $S_A = \mu_i \cdot S_k$ );

$\gamma$  est le poids spécifique de la neige, en  $\text{kN/m}^2$ .



Les éléments de poids pour  $S_A$  sont répartis sur la zone inférieure du module incliné, sur une longueur n'excédant pas  $2/3$  environ de la longueur verticale du module ( $l$ ).

Les éléments de poids pour  $S_E$  sont répartis sur la zone inférieure du module incliné, sur une longueur n'excédant pas  $1/2$  environ de la longueur verticale du module ( $l$ ).

Les modules PV quasi-triangulaires pour toiture à quatre pans et/ou toiture pavillon et les modules PV pour toiture en bardeaux de longueur verticale très faible ne relèvent pas du domaine d'application du présent document, car les glissements de neige depuis ces modules ont, par hypothèse, une incidence moindre.

Les accroissements de charge ultérieurs doivent être appliqués comme des charges sensibles à l'angle pour chaque zone. Chaque charge correspond à la pression sensible à l'angle en fonction du coefficient de forme (par exemple, dans le premier palier,  $2,4 \text{ kN/m}^2$  correspond à une pression sensible à l'angle de  $1,47 \text{ kN/m}^2$  à un angle d'inclinaison de  $37^\circ (\pm 1^\circ)$ , comme indiqué dans la Formule (1):

$$S_A = S_K \cdot \mu_i \quad (1)$$

La charge linéaire  $S_E$  est ensuite calculée et augmentée selon la Formule (2):

$$S_E = (S_A^2/\gamma) \quad (2)$$

Pour calculer la force qui peut ensuite être répartie de manière hétérogène conformément à la Figure 2, il est nécessaire de multiplier le résultat par les facteurs indiqués sur la Figure 2 et la longueur inférieure du module  $L_b$ .

$$\text{Exemple: force supplémentaire pour le segment inférieur} = 0,4 \cdot \frac{S_A^2}{\gamma} \cdot L_b$$

La charge initiale à laquelle démarrent tous les essais est déterminée à partir de la qualification de la conception minimale des modules PV conformément à l'essai de charge mécanique statique (MQT 16) de l'IEC 61215-2.

La charge initiale correspond à la combinaison de la charge de neige caractéristique  $S_K$  de  $2\,400 \text{ Pa}$  et de la charge linéaire  $S_E$ . Dans cet exemple:

$$S_K = 2,4 \text{ kN/m}^2 \quad (3)$$

$$S_A = \text{charge sensible à l'angle à } 37^\circ = 1,47 \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

$$S_E = 0,72 \text{ kN/m} \quad (5)$$

Les éléments de poids utilisés doivent être capables de glisser sur la surface du module, en générant le moins de frottements possible. Par exemple, l'emploi du polytétrafluoroéthylène (PTFE) pour la composition des éléments de poids est admis.



Pour chaque charge totale, des précautions doivent être prises afin de placer les éléments de poids suivant la répartition indiquée à la Figure 2. Des éléments de poids supplémentaires (disques poids, par exemple) sont placés sur la moitié inférieure du module afin de constituer la charge linéaire SE conformément à la Figure 2 et ainsi simuler une accumulation de neige de type "bombé". Un écart de distribution jusqu'à  $\pm 10\%$  peut être toléré.

### 7.7.3 Appareillage

Le banc d'essai comporte une sous-structure sur laquelle les modules PV peuvent être posés à  $37^\circ \pm 1^\circ$  conformément aux spécifications du fabricant.

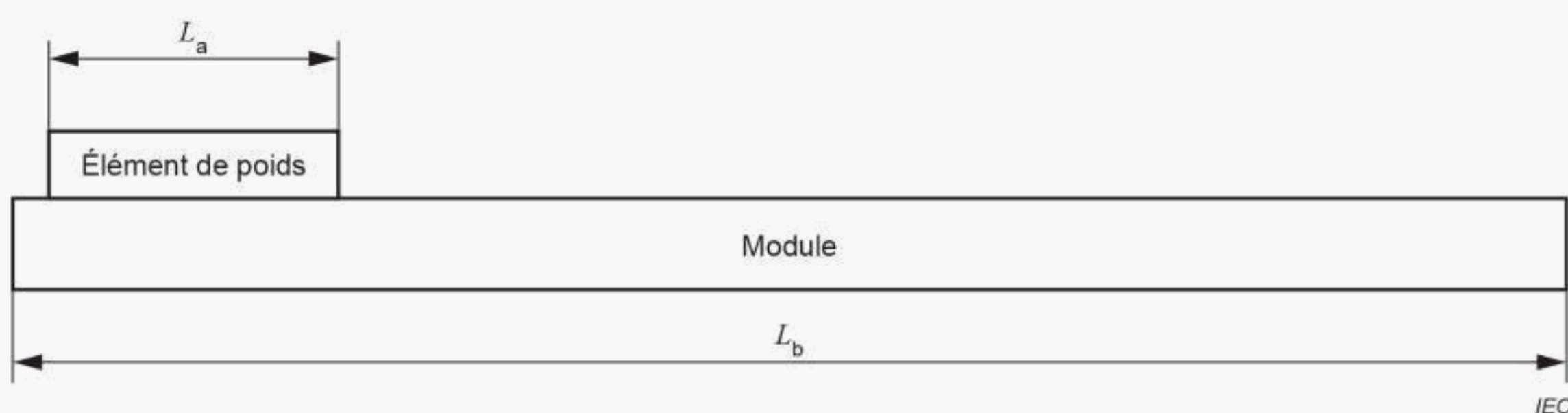
Comme indiqué à la Figure 3, la longueur effective d'un élément de poids agissant sur le cadre est désignée par le symbole  $L_a$ .

La largeur du module PV est désignée par le symbole  $L_b$ .

Pour garantir une homogénéité suffisamment importante de la charge en surface (zone élément de poids/module) et un nombre suffisamment élevé de points de contact (élément de poids/cadre), les conditions suivantes doivent être remplies:

Homogénéité de la charge en surface: 
$$\frac{\sum L_a}{L_b} \geq 90\% \quad (6)$$

Nombre de points de contact: 
$$\frac{L_b}{L_a} \geq 5 \quad (7)$$



**Figure 3 – Vue en coupe simplifiée de la largeur d'un module le long du cadre inférieur**

Les éléments de poids doivent être conçus de manière à appliquer la charge de manière plane et homogène, sans exercer de force sur la surface des modules.

Le contact entre le cadre du module et l'élément de poids doit être adéquat.

Des précautions doivent être prises afin que la charge descendante soit transmise à la partie inférieure du cadre du module.

Le contact de la partie inférieure de l'élément de poids et la surface du module doit s'effectuer en générant le moins de frottements possible.

Les éléments de poids contigus doivent être suffisamment espacés afin d'éviter qu'ils ne se collent les uns aux autres lorsque le cadre se plie et que la surface du module se déforme.

Des précautions doivent être prises afin d'éviter que la surface du module ne soit soumise à une abrasion ou à des rayures, causées par les éléments de poids.

Pour des raisons de sécurité, les éléments de poids doivent être protégés contre les chutes. La fixation des charges ne doit pas empêcher les charges de s'exercer pleinement sur le module PV.

L'appareillage d'essai doit être équipé d'un dispositif permettant de surveiller les mouvements dans le joint entre le cadre et le panneau stratifié (flexion du cadre).

#### 7.7.4 Procédure

Le module sur lequel doit être appliquée la charge est fixé sur le banc d'essai conformément aux indications du manuel d'instructions du fournisseur. Les modules posés par serrage sur le côté long du cadre reposent généralement sur des traverses, qui constituent la sous-structure. La face arrière peut entrer en contact avec la sous-structure sous l'effet de la flexion du module sous charge. Cette condition réelle doit être représentée dans le montage d'essai (aucune flexion libre sur le banc d'essai, si la sous-structure empêche de telles flexions en réalité).

Les conditions d'environnement pour la réalisation des essais sont de  $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

Etant donné que la plupart des colles se comportent de manière défavorable à des températures élevées, la température ambiante est considérée comme étant la condition d'essai la plus défavorable. Si la colle utilisée pour un type de module particulier est réputée fournir de meilleures performances à la température ambiante, alors l'essai doit être effectué à  $0\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

La procédure d'essai suivante doit être appliquée (voir aussi Figure 4).

Appliquer une charge initiale de  $S_k = 2\,400\text{ Pa}$  pendant au moins 24 h. Après 24 h, trois cas sont mis en évidence:

- Cas 1: aucun mouvement du cadre n'est visible depuis le réglage initial. La charge doit être augmentée jusqu'au prochain palier de charge pendant au moins 30 min. Lorsqu'aucun mouvement n'est visible pendant au moins 15 min, la charge doit à nouveau être augmentée. Répéter cette procédure jusqu'à la défaillance du module. Démarrer ensuite le module suivant en appliquant la charge initiale.
- Cas 2: le graphique de déformation dans le temps (voir Figure 5) montre une variation du gradient au cours des 24 h, mais le module reste stable pendant au moins 15 min jusqu'à la fin. Si aucun mouvement n'est visible pendant au moins 15 min, le prochain palier de charge doit être appliqué pendant au moins 1 h. Répéter cette procédure en appliquant un temps d'attente pour la stabilisation d'au moins 1 h pour chaque palier de charge et 4 h pour chaque 5<sup>e</sup> palier de charge, jusqu'à la défaillance du module. Démarrer ensuite le module suivant en appliquant la charge initiale.
- Cas 3: le mouvement du cadre est toujours visible. Attendre jusqu'à ce que le mouvement s'arrête. Si la situation ne devient pas stable et engendre une défaillance du module, la série d'essais doit être arrêtée. Si aucun mouvement n'est visible pendant au moins 15 min, le prochain palier de charge doit être appliqué pendant au moins 1 h. Répéter cette procédure en appliquant un temps d'attente pour la stabilisation d'au moins 1 h pour chaque palier de charge et 4 h pour chaque 5<sup>e</sup> palier de charge, jusqu'à la défaillance du module. Démarrer ensuite le module suivant en appliquant la charge initiale.

La Figure 5 représente le mouvement des modules PV dans le temps pour les exemples de cas 1, 2 et 3. En outre, les étapes suivantes doivent être suivies:

- a) documenter le montage d'essai en l'absence de charge et pour chaque palier de charge (accompagné d'une photographie);
- b) déterminer la répartition des charges comme indiqué en 7.7.2;
- c) préciser la date et l'heure d'application des paliers de charge;



- d) consigner les mouvements avec une précision d'au moins  $\pm 0,5$  mm au moins toutes les 5 min pendant la première et la dernière heure de la période d'application de la charge initiale de 24 h, puis à une fréquence continue pour les paliers de charge suivants;
- e) les incréments de charge doivent être appliqués par paliers de  $S_K + 200$  Pa.

Une variation visible se définit comme une variation d'au moins 1,0 mm mesurée en l'un des points suivants:

- $\frac{1}{2} \cdot L_b$  de la partie inférieure du cadre, dans la direction du plan du module;
- aux extrémités gauche et droite de la partie inférieure du cadre, dans le sens du plan du module.

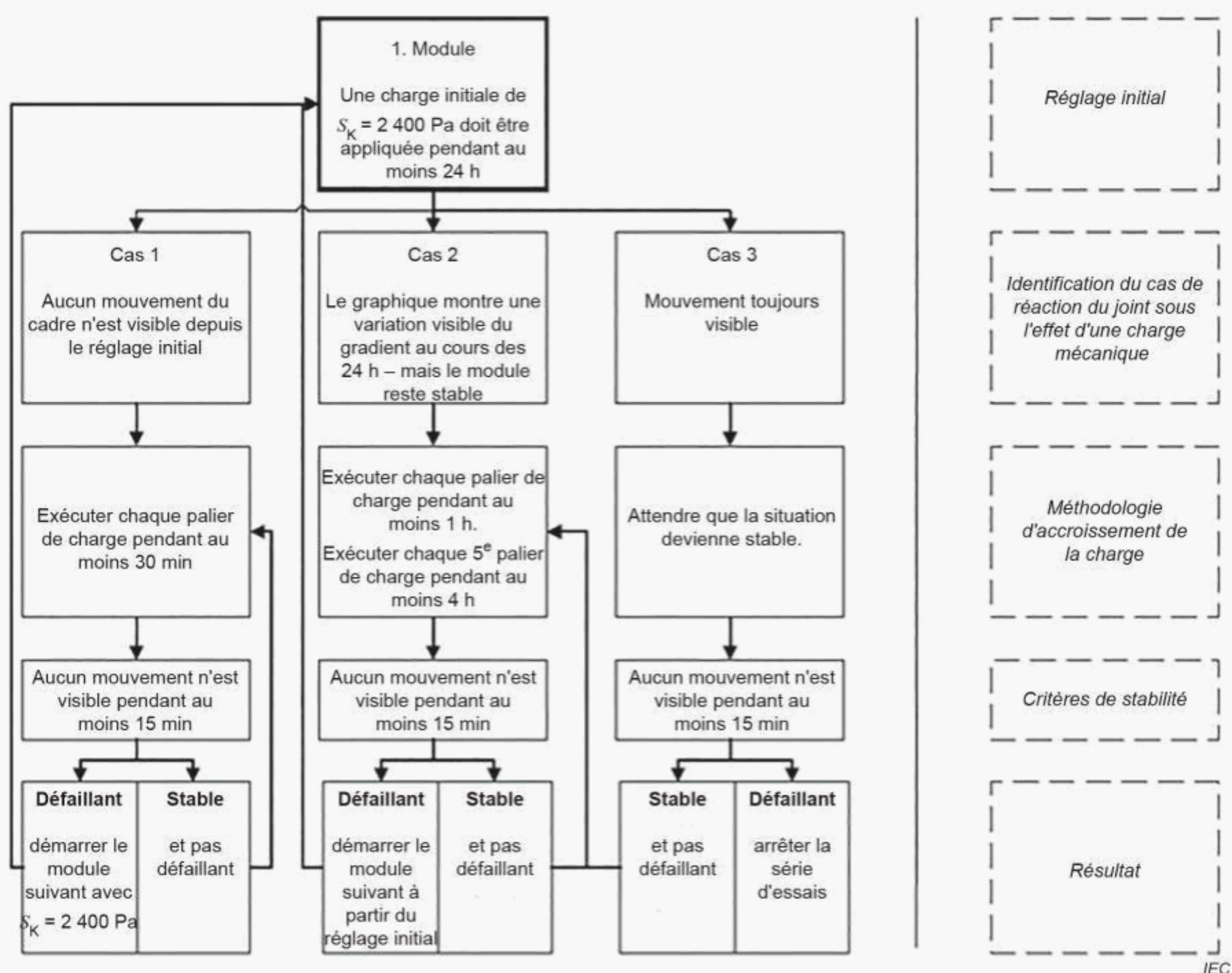
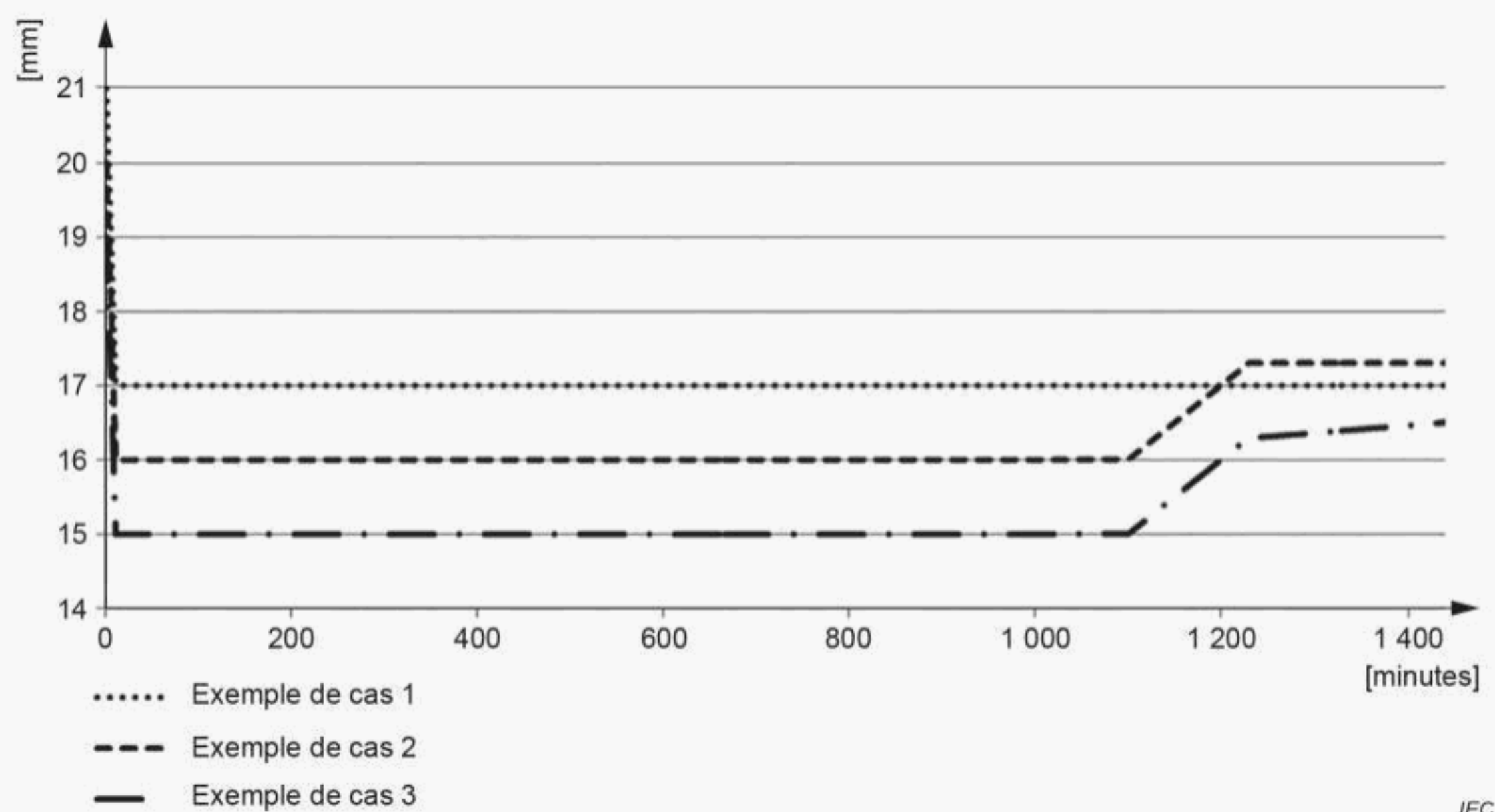


Figure 4 – Procédure d'essai de surcharges de neige hétérogènes



NOTE En raison des différentes techniques de collage de cadres utilisées, des réactions différentes à une charge statique sont possibles. Trois exemples de graphiques sont fournis à la Figure 5; ils correspondent aux trois cas de réaction représentés sur la Figure 4.

**Figure 5 – Différents graphiques de déformation sous une charge statique**

Si la défaillance survient alors qu'un nouveau niveau de charge est appliqué, alors le niveau de charge précédent est pris comme limite de défaillance.

Cette séquence d'essai est exécutée sur un total d'au moins 5 modules.

## 8 Critères de rejet

Les types de dommages suivants sont considérés comme les critères de rejet de l'essai:

- surfaces extérieures cassées, fissurées ou déchirées, y compris les superstrats, les substrats, les cadres, les rails et les boîtes de jonction;
- surfaces extérieures gauchies ou désalignées (déformation permanente), y compris les superstrats, les substrats, les cadres, les rails et les boîtes de jonction, au point que l'installation et/ou le fonctionnement du module en seraient affectés;
- perte de l'intégrité mécanique au point que l'installation et/ou le fonctionnement du module en seraient affectés;
- défaillance du sixième module (utilisé pour la détermination de la dégradation des performances électriques dans la colonne droite de la Figure 1) afin de respecter les exigences de l'IEC 61215-2 MQT 03 et MQT 15, et dépassement de 5 % de la dégradation de la puissance maximale conformément à la formule fournie dans l'IEC 61215-1:2016, 7.2.2.

## 9 Vérification des résultats d'essai

Les valeurs de limite de charge  $X$  sont établies conformément aux règles de calcul définies à l'Article 10 et converties à la valeur fractile de 5 %,  $X_{5\%}$ . Cette valeur fractile est ensuite divisée par un facteur de sécurité de 1,5.

A une valeur fractile de 5 % par exemple, seulement 5 % des composants ne parviennent pas à atteindre la résistance minimale.



L'essai de charges hétérogènes est effectué sur un sixième module PV pendant au moins 24 h avec la valeur de charge calculée (valeur fractile de 5 % divisée par le facteur de sécurité). En outre, avant et après l'essai de surcharges de neige hétérogènes, les mesurages de diagnostic de l'IEC 61215-2 sont réalisés (essai diélectrique, essai de courant de fuite en milieu humide, détermination de la puissance de sortie). La dégradation maximale admise pour la puissance de sortie maximale avant et après l'essai de charges hétérogènes est de 5,0 %.

Si la perte de puissance est supérieure à 5,0 % ou que les modules ne réussissent pas l'essai diélectrique ou l'essai de courant de fuite en milieu humide de diagnostic, alors l'essai peut être répété sur un autre module PV qui a également été preconditionné lors de l'essai humidité-gel. Toutefois, un facteur de sécurité plus élevé doit ensuite être appliqué. Le facteur de sécurité suivant doit être augmenté par incréments de 0,25 jusqu'à ce qu'aucune défaillance ne se produise.

## 10 Analyse statistique

### 10.1 Généralités

Les étapes de calcul suivantes doivent être effectuées pour l'analyse statistique dans le cadre de l'essai relatif aux composants.

### 10.2 Valeur fractile de 5 % avec distribution de Student

La Formule (8) doit être utilisée pour déterminer la charge limite à laquelle statistiquement 5 % des éprouvettes ne réussissent pas les essais:

$$X_{5\%} = \bar{x} - t_{n-1,\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

où

$t_{n-1,\alpha}$  est le facteur de la distribution de Student à  $\alpha = 0,95$ ;

$n$  est le nombre d'échantillons (5);

$S$  est l'écart type.

### 10.3 Facteur de sécurité

Pour mesurer la capacité de charge réelle, la valeur fractile de 5 % doit être divisée par un facteur de sécurité. Pour les besoins du présent document, dans le cas des composants sensibles aux vibrations et soumis à des charges dynamiques, un facteur de sécurité de 1,5 est utilisé, sous réserve que l'Article 9 ne nécessite pas l'emploi d'un facteur de sécurité plus élevé.

### 10.4 Exemple

La séquence d'essai de détermination de la portance a permis de déterminer les valeurs suivantes (les valeurs données sont par hypothèse issues d'un projet fictif):

- 3 652 Pa;
- 2 700 Pa;
- 4 025 Pa;
- 3 700 Pa;
- 4 250 Pa.

Valeur moyenne = 3 665 Pa

Ecart type =  $S = 530$  Pa

$$t_{n-1,\alpha} = 2,13$$

Valeur fractile de 5 % = 3 160 Pa  $t_{n-1,\alpha}$ .

La division par le facteur de sécurité de 1,5 donne une valeur de charge finale de 2 107 Pa.

La vérification des résultats d'essai conformément à l'Article 9 est réalisée à cette valeur de charge finale.

### 10.5 Quantiles de la distribution $t$ (distribution de Student)

Le degré de liberté à lire correspond au nombre d'essais ( $n - 1$ ) à l'intervalle de confiance exigé de 0,95 (voir Tableau 2).

**Tableau 2 – Quantiles de la distribution  $t$  (distribution de Student)**

Degré de liberté	$(t_{n-1,\alpha})$ à $\alpha = 0,95$	Degré de liberté	$(t_{n-1,\alpha})$ à $\alpha = 0,95$
1 (avec 2 éprouvettes)	6,314	11 (avec 12 éprouvettes)	1,796
2 (avec 3 éprouvettes)	2,920	12 (avec 13 éprouvettes)	1,782
3 (avec 4 éprouvettes)	2,353	13 (avec 14 éprouvettes)	1,771
4 (avec 5 éprouvettes)	2,132	14 (avec 15 éprouvettes)	1,761
5 (avec 6 éprouvettes)	2,015	15 (avec 16 éprouvettes)	1,753
6 (avec 7 éprouvettes)	1,943	16 (avec 17 éprouvettes)	1,746
7 (avec 8 éprouvettes)	1,895	17 (avec 18 éprouvettes)	1,740
8 (avec 9 éprouvettes)	1,860	18 (avec 19 éprouvettes)	1,734
9 (avec 10 éprouvettes)	1,833	19 (avec 20 éprouvettes)	1,729
10 (avec 11 éprouvettes)	1,812	20 (avec 21 éprouvettes)	1,725

En fonction du nombre d'échantillons d'essai utilisés pour la séquence de détermination de la portance, la valeur de  $(t_{n-1,\alpha})$  à utiliser dans la Formule (8) doit être choisie à partir du Tableau 2.

## 11 Rapport d'essai

Après la détermination de la limite de charge hétérogène, un rapport d'essai répertoriant les caractéristiques de performance mesurées ainsi que le détail des défaillances et contre-essais réalisés, doit être élaboré par le laboratoire d'essai. Le rapport doit contenir la spécification particulière du module. Chaque rapport d'essai doit comprendre au minimum les informations suivantes:

- un titre;
- le nom et l'adresse du laboratoire d'essai, ainsi que le lieu où les essais ont été réalisés;
- l'identification unique du rapport d'essai (et de chaque page);
- le nom et l'adresse du client, s'il y a lieu;
- la description et l'identification de l'élément soumis à l'essai;
- la caractérisation et la condition de l'élément d'essai;
- la date de réception de l'élément d'essai, ainsi que la ou les dates de l'essai, s'il y a lieu;

- h) une référence à la procédure d'échantillonnage, s'il y a lieu;
- i) la documentation des résultats obtenus (accompagnés de photographies);
- j) les informations concernant les composants pertinents ou les dimensions:
  - cadre (désignation du type, matériau, dimensions, fabricant);
  - face arrière (désignation du type, matériau, dimensions, fabricant);
  - verre (désignation du type, matériau, dimensions, fabricant);
  - colle appliquée entre le verre et le cadre (désignation du type, matériau, dimensions, fabricant);
  - attaches ou vis utilisées pour le montage du module (type/dimensions);
  - système ou méthode de montage (désignation du type, matériau, dimensions, fabricant);
  - points de serrage ou de montage;
- k) la durée de chaque palier de charge (application des charges et charge);
- l) la pression appliquée au point de défaillance de chaque échantillon, en Pascal;
- m) l'angle auquel l'essai a été réalisé et les combinaisons angle/charge déterminées conformément à l'Article A.2;
- n) la valeur de charge finale;
- o) les écarts, ajouts ou exclusions par rapport à la méthode d'essai, ainsi que toutes les informations relatives aux essais particuliers (conditions d'environnement, par exemple);
- p) une indication de l'incertitude estimée des résultats d'essai (s'il y a lieu);
- q) la signature et la fonction, ou toute identification équivalente de la ou des personnes ayant élaboré le contenu du rapport, ainsi que la date de parution de ce dernier;
- r) s'il y a lieu, une déclaration indiquant que les résultats ne se rapportent qu'aux éléments soumis aux essais;
- s) une spécification indiquant que le rapport ne doit pas être reproduit, sauf dans sa totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.

Une copie de ce rapport doit être conservée par le fabricant pour des besoins de référence.

## 12 Modifications

Les modifications apportées au choix des matériaux, aux composants et au procédé de fabrication peuvent avoir un impact sur la qualification du produit modifié.

Les contre-essais doivent être effectués conformément à l'IEC TS 62915. Les séquences d'essais recommandées ont été choisies de manière à identifier les modifications défavorables apportées au produit modifié.

Le nombre d'échantillons à inclure dans le programme de contre-essai et les critères d'acceptation/de rejet doivent être issus des articles/paragraphes concernés dans le présent document.

## Annexe A (informative)

### Utilisation des valeurs déterminées

#### A.1 Charges de neige estimées et utilisation de la résistance déterminée

La charge de neige estimée est couramment décrite dans les annexes nationales des normes structurelles ou par référence aux codes de construction locaux. La valeur de charge déterminée à l'issue de cet essai de surcharges de neige hétérogènes peut être utilisée pour les calculs statiques de la résistance sous réserve d'avoir reçu l'accord des autorités locales compétentes.

En l'absence d'exigences nationales, le Code européen EN 1991-1-3 peut être utilisé comme ligne directrice. Ici, les charges de neige sont définies en fonction des altitudes locales au-dessus du niveau de la mer (en m). A défaut, les charges de neige correspondantes peuvent être déterminées à partir des cartes de neige régionales correspondant à la zone, où les modules PV seront installés.

#### A.2 Calcul des charges portantes selon différents angles

Pour calculer la portance à d'autres angles, les formules suivantes doivent être utilisées:

$$\text{Pour } \alpha: 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ: \frac{\text{charge finale}}{0,61} \cdot 0,8 \quad (\text{A.1})$$

$$\text{Pour } \alpha: 30^\circ < \alpha < 60^\circ: \frac{\text{charge finale}}{0,61} \cdot 0,8 \cdot \frac{(60^\circ - \text{angle})}{30} \quad (\text{A.2})$$

$$\text{Pour } \alpha: \alpha \geq 60^\circ: \frac{\text{charge finale}}{0,61} \quad (\text{A.3})$$



## Bibliographie

EN 1991-1-3:2010, *Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3: Actions générales – Charges de neige*

---





