

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
1646**

Première édition  
First edition  
1996-11

---

---

**Modules photovoltaïques (PV) en couches  
minces pour application terrestre –  
Qualification de la conception et homologation**

**Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –  
Design qualification and type approval**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 1646: 1996

## 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 auprès du Bureau Central 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**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## 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.

## 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 from the IEC Central Office.

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**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## 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.

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC  
1646

Première édition  
First edition  
1996-11

**Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation**

**Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval**

© CEI 1996 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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIS  
PRICE CODE

X

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

# SOMMAIRE

|                                                                               | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS.....                                                             | 6     |
| Articles                                                                      |       |
| 1 Domaine d'application et objet.....                                         | 8     |
| 2 Références normatives.....                                                  | 8     |
| 3 Echantillon .....                                                           | 10    |
| 4 Marquage.....                                                               | 10    |
| 5 Essais .....                                                                | 12    |
| 6 Conditions d'acceptation.....                                               | 12    |
| 7 Défauts visuels majeurs .....                                               | 14    |
| 8 Rapport d'essai.....                                                        | 14    |
| 9 Modifications.....                                                          | 14    |
| 10 Procédures d'essai .....                                                   | 18    |
| 10.1 Examen visuel.....                                                       | 18    |
| 10.2 Performance aux STC .....                                                | 20    |
| 10.3 Essai d'isolement.....                                                   | 20    |
| 10.4 Mesure des coefficients de température.....                              | 22    |
| 10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)..... | 24    |
| 10.6 Performance à NOCT .....                                                 | 40    |
| 10.7 Performance sous faible éclairage .....                                  | 42    |
| 10.8 Essai d'exposition en site naturel.....                                  | 42    |
| 10.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé.....                            | 44    |
| 10.10 Essai UV .....                                                          | 54    |
| 10.11 Essai de cycles thermiques .....                                        | 56    |
| 10.12 Essai humidité-gel.....                                                 | 58    |
| 10.13 Essai continu de chaleur humide .....                                   | 62    |
| 10.14 Essai de robustesse des sorties .....                                   | 64    |
| 10.15 Essai de vrillage.....                                                  | 66    |
| 10.16 Essai de charge mécanique .....                                         | 68    |
| 10.17 Essai à la grêle .....                                                  | 70    |
| 10.18 Exposition prolongée au rayonnement lumineux.....                       | 76    |
| 10.19 Recuit.....                                                             | 78    |
| 10.20 Essai de courant de fuite en milieu humide .....                        | 80    |

## CONTENTS

|                                                                    | Page |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                                                     | 7    |
| Clause                                                             |      |
| 1 Scope and object.....                                            | 9    |
| 2 Normative references .....                                       | 9    |
| 3 Sampling.....                                                    | 11   |
| 4 Marking.....                                                     | 11   |
| 5 Testing.....                                                     | 13   |
| 6 Pass criteria.....                                               | 13   |
| 7 Major visual defects.....                                        | 15   |
| 8 Report.....                                                      | 15   |
| 9 Modifications.....                                               | 15   |
| 10 Test procedures.....                                            | 19   |
| 10.1 Visual inspection.....                                        | 19   |
| 10.2 Performance at STC.....                                       | 21   |
| 10.3 Insulation test.....                                          | 21   |
| 10.4 Measurement of temperature coefficients.....                  | 23   |
| 10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT)..... | 25   |
| 10.6 Performance at NOCT.....                                      | 41   |
| 10.7 Performance at low irradiance.....                            | 43   |
| 10.8 Outdoor exposure test.....                                    | 43   |
| 10.9 Hot-spot endurance test.....                                  | 45   |
| 10.10 UV test.....                                                 | 55   |
| 10.11 Thermal cycling test.....                                    | 57   |
| 10.12 Humidity-freeze test.....                                    | 59   |
| 10.13 Damp heat test.....                                          | 63   |
| 10.14 Robustness of terminations test .....                        | 65   |
| 10.15 Twist test.....                                              | 67   |
| 10.16 Mechanical load test .....                                   | 69   |
| 10.17 Hail test.....                                               | 71   |
| 10.18 Light-soaking.....                                           | 77   |
| 10.19 Annealing.....                                               | 79   |
| 10.20 Wet leakage current test.....                                | 81   |

Pages

Tableaux

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1 Résumé des niveaux d'essai.....                      | 18 |
| 2 Masses des billes de glace et vitesses d'essai ..... | 70 |
| 3 Localisation des impacts .....                       | 74 |

Figures

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Séquence d'essais de qualification.....                          | 16 |
| 2 Facteur de correction de NOCT .....                              | 36 |
| 3 Plaque de référence .....                                        | 38 |
| 4 Mesure de la NOCT par la méthode de la plaque de référence.....  | 38 |
| 5 Facteur de correction du vent.....                               | 40 |
| 6 Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type A ..... | 44 |
| 7 Caractéristiques inverses .....                                  | 46 |
| 8 Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B ..... | 46 |
| 9 Cas SP: connexion en série-parallèle.....                        | 50 |
| 10 Cas SPS: connexion en série-parallèle-série .....               | 50 |
| 11 Essai de cycle thermique.....                                   | 56 |
| 12 Cycle humidité-gel .....                                        | 60 |
| 13 Equipement pour l'essai de tenue à la grêle.....                | 72 |
| 14 Localisation des points d'impact.....                           | 74 |
| Annexe A – Bibliographie.....                                      | 84 |

## Tables

|   |                                           |    |
|---|-------------------------------------------|----|
| 1 | Summary of test levels .....              | 19 |
| 2 | Ice-ball masses and test velocities ..... | 71 |
| 3 | Impact locations.....                     | 75 |

## Figures

|                              |                                                   |    |
|------------------------------|---------------------------------------------------|----|
| 1                            | Qualification test sequence .....                 | 17 |
| 2                            | NOCT correction factor.....                       | 37 |
| 3                            | Reference plate .....                             | 39 |
| 4                            | NOCT measurement by reference-plate method .....  | 39 |
| 5                            | Wind correction factor .....                      | 41 |
| 6                            | Hot-spot effect in type A cell.....               | 45 |
| 7                            | Reverse characteristics .....                     | 47 |
| 8                            | Hot-spot effect in type B cell.....               | 47 |
| 9                            | Case SP: series-parallel connection.....          | 51 |
| 10                           | Case SPS: series-parallel-series connection ..... | 51 |
| 11                           | Thermal cycling test.....                         | 57 |
| 12                           | Humidity-freeze cycle .....                       | 61 |
| 13                           | Hail test equipment.....                          | 73 |
| 14                           | Impact locations.....                             | 75 |
| Annex A – Bibliography ..... |                                                   | 85 |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) EN COUCHES MINCES POUR APPLICATION TERRESTRE – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION

### 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 CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 1646 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette norme est issu de la Norme internationale CEI 1215 et des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 82/153/FDIS | 82/166/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.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THIN-FILM TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES –  
DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL**

## FOREWORD

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

International Standard IEC 1646 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

The text of this standard is based on International Standard IEC 1215 and on the following documents:

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 82/153/FDIS | 82/166/RVD       |

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

Annex A is for information only.

# **MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) EN COUCHES MINCES POUR APPLICATION TERRESTRE – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION**

## **1 Domaine d'application et objet**

La présente Norme internationale donne les exigences sur la qualification de la conception et l'homologation des modules photovoltaïques en couches minces pour application terrestre et pour une utilisation de longue durée dans les climats modérés d'air libre, définis dans la CEI 721-2-1. Elle a été écrite en tenant compte de la technologie au silicium amorphe, mais peut aussi être applicable aux autres modules PV en couches minces. Des modifications à la présente séquence d'essais peuvent être nécessaires à cause des caractéristiques spécifiques de ces autres nouvelles technologies.

La séquence d'essais est issue en grande partie de celle spécifiée dans la CEI 1215 pour la qualification de la conception et l'homologation des modules PV au silicium cristallin pour application terrestre. Certaines modifications ont été cependant effectuées pour tenir compte des particularités des modules au silicium amorphe en couches minces. L'exposition prolongée au rayonnement lumineux est utilisée pour séparer la dégradation sous l'effet lumineux des autres mécanismes de dégradation et pour fournir la puissance maximale à la fin de la séquence d'essais comme une évaluation de la performance à longue durée des modules en couches minces. Les modules sont recuits avant l'essai de cycles thermiques et l'essai continu de chaleur humide afin de distinguer les effets de recuit d'une quelconque dégradation résultant de ces essais. Pour les technologies en couches minces autres que celles au silicium amorphe, les prétraitements tels que l'exposition prolongée au rayonnement lumineux et le recuit peuvent être différents ou s'avérer inutiles. Un essai de courant de fuite en milieu humide a été ajouté, car tous les types de modules en couches minces sont sensibles à la corrosion provoquée par l'humidité.

L'objet de la présente séquence d'essais est de déterminer les caractéristiques électriques et thermiques du module et de montrer, autant que possible avec des contraintes de coût et de temps raisonnables, que le module est apte à supporter une exposition prolongée aux climats définis dans le domaine d'application. L'espérance de vie réelle des modules ainsi qualifiés dépendra de leur conception ainsi que de l'environnement et des conditions dans lesquelles ils fonctionneront.

La présente norme ne s'applique pas aux modules utilisés avec des concentrateurs.

## **2 Références normatives**

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

CEI 68-1: 1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*  
Amendement 1 (1992)

CEI 68-2-2: 1974, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essais B: Chaleur sèche*  
Amendement 1 (1993)  
Amendement 2 (1994)

CEI 68-2-3: 1969, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Ca: Essai continu de chaleur humide*

## THIN-FILM TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

### 1 Scope and object

This International Standard lays down requirements for the design qualification and type approval of terrestrial thin-film photovoltaic modules suitable for long-term operation in moderate open-air climates as defined in IEC 721-2-1. It is written with amorphous silicon technology in mind, but may also be applicable to other thin-film PV modules. Modifications to this test sequence may be necessary due to the specific characteristics of these other new technologies.

The test sequence is based largely on that specified in IEC 1215 for the design qualification and type approval of terrestrial crystalline silicon PV modules. However, some changes have been made to account for the special features of amorphous silicon thin-film modules. Light-soaking is used to separate light-induced degradation from other degradation mechanisms, and to provide the maximum power at the end of the test sequence as an estimate of the long-term performance of thin-film modules. Modules are annealed before thermal cycling and damp heat tests in order to separate the annealing effects from any degradation resulting from these tests. For thin-film technologies other than amorphous silicon, pretreatments such as light-soaking and annealing may differ or may prove unnecessary. A wet leakage current test has been added because all types of thin-film modules are susceptible to moisture-induced corrosion.

The object of this test sequence is to determine the electrical and thermal characteristics of the module and to show, as far as possible within reasonable constraints of cost and time, that the module is capable of withstanding prolonged exposure in climates described in the scope. The actual life expectancy of modules so qualified will depend on their design, their environment and the conditions under which they are operated.

This standard does not apply to modules used with concentrators.

### 2 Normative references

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

IEC 68-1: 1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*  
Amendment 1 (1992)

IEC 68-2-2: 1974, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests B: Dry heat*  
Amendment 1 (1993)  
Amendment 2 (1994)

IEC 68-2-3: 1969, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ca: Damp heat, steady state*

CEI 68-2-21: 1983, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*

Amendement 2 (1991)

Amendement 3 (1992)

CEI 410: 1973, *Plans et règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs*

CEI 721-2-1: 1982, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

Modification 1 (1987)

CEI 891: 1987, *Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*

Amendement 1 (1992)

CEI 904-1: 1987, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1: Mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

CEI 904-3: 1989, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence*

CEI 904-9: 1995, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires*

CEI 1215: 1993, *Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

CEI QC 001002: 1986, *Règles de procédure du Système CEI d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ)*

Amendement 2 (1994)

### 3 Echantillon

Huit modules pour les essais de qualification (plus le nombre de modules de rechange désiré) doivent être prélevés au hasard parmi un ou plusieurs lots de production, conformément à la procédure indiquée dans la CEI 410. Les modules doivent avoir été fabriqués à partir de matériaux et de composants spécifiés, conformément aux schémas et aux procédures de fabrication correspondants et doivent avoir été soumis au contrôle normal du fabricant et aux procédures du contrôle de la qualité et de l'acceptation de la production. Les modules doivent être dans leur intégrité, jusqu'au moindre détail, et doivent être accompagnés d'instructions de manipulation, de montage et de raccordement fournies par le fabricant, incluant la tension maximale permise du système.

Si les modules à essayer sont des prototypes d'une nouvelle conception mais non issus d'une production, la mention doit en être faite dans le rapport d'essai (voir article 8).

### 4 Marquage

Chaque module doit porter clairement et de manière indélébile les indications suivantes:

- nom, monogramme ou symbole du fabricant;
- type ou numéro du modèle;
- numéro de série;
- polarité des bornes de sorties ou des conducteurs (un code de couleur est autorisé);
- tension maximale de système pour lequel le module est adéquat;
- valeur nominale et minimale de la puissance maximale dans les conditions d'essais normalisés (STC), comme spécifié par le fabricant pour le produit type.

La date et le lieu de fabrication doivent être marqués sur le module ou déductibles à partir du numéro de série.

IEC 68-2-21: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

Amendment 2 (1991)

Amendment 3 (1992)

IEC 410: 1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

IEC 721-2-1: 1982, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

Amendment 1 (1987)

IEC 891: 1987, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices*

Amendment 1 (1992)

IEC 904-1: 1987, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics*

IEC 904-3: 1989, *Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*

IEC 904-9: 1995, *Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements*

IEC 1215: 1993, *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC QC 001002: 1986, *Rules of Procedure of the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ)*

Amendment 2 (1994)

### 3 Sampling

Eight modules for qualification testing (plus spares as desired) shall be taken at random from a production batch or batches, in accordance with the procedure given in IEC 410. The modules shall have been manufactured from specified materials and components in accordance with the relevant drawings and process sheets and shall have been subjected to the manufacturer's normal inspection, quality control and production acceptance procedures. The modules shall be complete in every detail and shall be accompanied by the manufacturer's handling, mounting and connection instructions, including the maximum permissible system voltage.

When the modules to be tested are prototypes of a new design and not from production, this fact shall be noted in the test report (see clause 8).

### 4 Marking

Each module shall carry the following clear and indelible markings:

- name, monogram or symbol of manufacturer;
- type or model number;
- serial number;
- polarity of terminals or leads (colour coding is permissible);
- maximum system voltage for which the module is suitable;
- nominal and minimum values of maximum output power at STC, as specified by the manufacturer for the product type.

The date and place of manufacture shall be marked on the module or be traceable from the serial number.

## 5 Essais

Les modules doivent être répartis en groupes et soumis aux séquences d'essais de qualification de la figure 1, les essais étant effectués dans l'ordre établi. Chaque case fait référence au paragraphe correspondant de la présente norme. Les sévérités et la procédure de l'essai en question, incluant les mesures initiales et finales si nécessaire, sont détaillées à l'article 10. Cependant, pour les essais de 10.2, 10.4, 10.6 et 10.7, il convient de remarquer que les procédures établies dans la CEI 891 pour la correction des caractéristiques I-V mesurées en fonction de la température et de l'éclairement s'appliquent uniquement aux modules linéaires. Si le module est non linéaire, ces essais doivent être effectués dans les limites des  $\pm 5 \%$  de l'éclairement spécifié et dans les limites des  $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  de la température spécifiée.

NOTE – Quand les mesures finales d'un essai servent comme mesures initiales pour l'essai suivant dans la séquence, elles n'ont pas besoin d'être répétées. Dans ce cas, les mesures initiales sont omises de l'essai.

Tout essai isolé, exécuté indépendamment de la séquence d'essais, doit être précédé par les essais initiaux de 10.1, 10.2 et 10.3.

En effectuant les essais, l'opérateur doit observer scrupuleusement les instructions de manipulation, de montage et de raccordement préconisées par le fabricant. L'essai donné en 10.4 peut être omis si les coefficients de température  $\alpha$  et  $\beta$  sont déjà connus. Pour les technologies en couches minces autres que celles au silicium amorphe, le recuit et l'exposition prolongée au rayonnement lumineux peuvent être omis s'il est prouvé d'une manière concluante qu'ils ne produisent aucun effet (changement en puissance maximale inférieur à 0,5 %). Le rapport d'essais doit donner les conditions d'une telle omission.

Les conditions des essais sont résumées au tableau 1.

## 6 Conditions d'acceptation

Une conception de module sera jugée comme satisfaisant aux essais de qualification et, par conséquent, comme étant un type approuvé par la CEI, si chaque échantillon d'essai répond à tous les critères suivants:

- a) la dégradation de la puissance maximale fournie dans les conditions d'essais normalisées (STC) n'excède pas la limite prescrite après chaque essai;
- b) après l'exposition prolongée finale au rayonnement lumineux, la puissance maximale aux STC n'est pas inférieure à 90 % de la valeur minimale spécifiée par le fabricant dans l'article 4;
- c) aucun échantillon n'a présenté de circuit ouvert ou de défaut de masse pendant les essais;
- d) il n'y a pas de défaut visuel majeur évident, comme ceux définis à l'article 7;
- e) les exigences des essais 10.3 et 10.20 sont satisfaites.

Si deux modules ou plus ne satisfont pas à ces critères, on doit considérer que la conception ne répond pas aux exigences de la qualification. Si un seul module est défectueux au cours d'un essai, deux autres modules remplissant les exigences de l'article 3 doivent être soumis à l'intégralité, depuis le début, de la séquence d'essais correspondante. Si un ou les deux modules sont également défectueux, on considérera que la conception ne répond pas aux exigences de la qualification. Si, cependant, les deux modules subissent avec succès la séquence d'essais, on considérera que la conception répond aux exigences de la qualification.

## 5 Testing

The modules shall be divided into groups and subjected to the qualification test sequences in figure 1, carried out in the order laid down. Each box refers to the corresponding subclause in this standard. Test procedures and severities, including initial and final measurements where necessary, are detailed in clause 10. However, with regard to the tests of 10.2, 10.4, 10.6 and 10.7, it should be noted that the procedures laid down in IEC 891 for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics apply only to linear modules. If the module is non-linear these tests shall be carried out within  $\pm 5$  % of the specified irradiance and within  $\pm 2$  °C of the specified temperature.

NOTE – Where the final measurements for one test serve as the initial measurements for the next test in the sequence, they need not be repeated. In these cases, the initial measurements are omitted from the test.

Any single test, executed independently of a test sequence, shall be preceded by the initial tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

In carrying out the tests, the tester shall strictly observe the manufacturer's handling, mounting and connection instructions. Tests given in 10.4 may be omitted if the temperature coefficients  $\alpha$  and  $\beta$  are already known. For thin-film technologies other than amorphous silicon, annealing and light-soaking may be omitted if these have been conclusively proven to have no effect (change in maximum power less than 0,5 %). The test report shall state the basis for any such omission.

Test conditions are summarized in table 1.

## 6 Pass criteria

A module design shall be judged to have passed the qualification tests, and therefore, to be IEC type approved, if each test sample meets all the following criteria:

- a) the degradation of maximum output power at standard test conditions (STC) does not exceed the prescribed limit after each test;
- b) after the final light-soaking, the maximum output power at STC is not less than 90 % of the minimum value specified by the manufacturer in clause 4;
- c) no sample has exhibited any open-circuit or ground fault during the tests;
- d) there is no visual evidence of a major defect, as defined in clause 7;
- e) the requirements of tests 10.3 and 10.20 are met.

If two or more modules do not meet these test criteria, the design shall be deemed not to have met the qualification requirements. Should one module fail any test, another two modules meeting the requirements of clause 3 shall be subjected to the whole of the relevant test sequence from the beginning. If one or both of these modules also fail, the design shall be deemed not to have met the qualification requirements. If, however, both modules pass the test sequence, the design shall be judged to have met the qualification requirements.

## 7 Défauts visuels majeurs

Pour l'appréciation de la qualification de la conception et l'homologation, chacun des défauts suivants est considéré comme un défaut visuel majeur:

- a) surfaces externes cassées, fêlées, vrillées, désalignées ou déchirées;
- b) vides ou corrosion visible de toute couche mince du circuit actif du module s'étendant sur plus de 10 % de n'importe quelle cellule;
- c) bulles ou délamination formant un chemin continu entre toute partie du circuit électrique et le bord du module;
- d) perte de l'intégrité mécanique entraînant une détérioration empêchant l'installation et/ou le fonctionnement du module.

## 8 Rapport d'essai

Pour l'homologation de type, un rapport certifié des essais de qualification, incluant les résultats de mesure des caractéristiques de performance ainsi que le détail de chaque défaut et essai de reprise ou les omissions, doit être préparé par le laboratoire d'essais conformément à la procédure donnée dans la CEI QC 001002. Une copie de ce rapport doit être conservée par le fabricant pour être utilisée en tant que référence.

## 9 Modifications

Tout changement dans la conception, les matériaux, les composants ou la fabrication du module peut nécessiter la répétition d'une partie des essais ou de tous les essais de qualification afin de conserver l'homologation du type.

## 7 Major visual defects

For the purposes of design qualification and type approval, the following are considered to be major visual defects:

- a) broken, cracked, bent, misaligned or torn external surfaces;
- b) voids in, or visible corrosion of any of the thin-film layers of the active circuitry of the module, extending over more than 10 % of any cell;
- c) bubbles or delamination forming a continuous path between any part of the electrical circuit and the edge of the module;
- d) loss of mechanical integrity, to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired.

## 8 Report

Following type approval, a certified report of the qualification tests, with measured performance characteristics and details of any failures, re-tests or omissions shall be prepared by the test agency in accordance with the procedure of IEC QC 001002. A copy of this report shall be kept by the manufacturer for reference purposes.

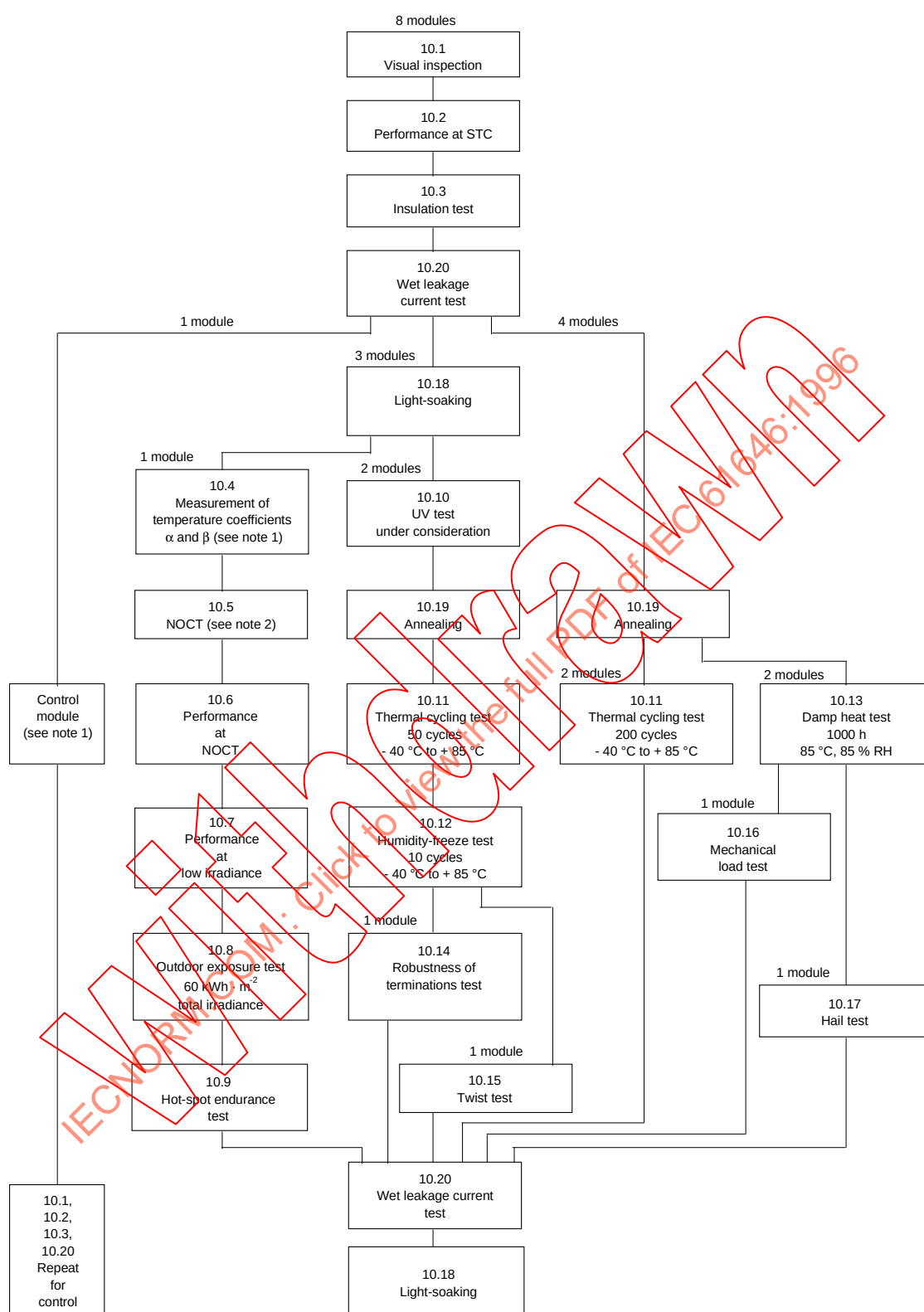
## 9 Modifications

Any change in the design, materials, components or processing of the module may require a repetition of some or all of the qualification tests to maintain type approval.



1 Peut être supprimé si  $\alpha$  et  $\beta$  sont déjà connus.

**Figure 1 – Séquence d'essais de qualification**



## NOTES

- 1 May be omitted if  $\alpha$  and  $\beta$  are known.
- 2 In the case of modules not designed for open-rack mounting, the NOCT (nominal operating cell temperature) may be replaced by the equilibrium mean solar cell junction temperature in the standard reference environment with the module mounted as recommended by the manufacturer.

IEC 988/96

Figure 1 – Qualification test sequence

**Tableau 1 – Résumé des niveaux d'essai**

| Essai | Titre                                        | Conditions d'essai                                                                                                                                   |
|-------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10.1  | Examen visuel                                | Voir la liste détaillée pour examen en 10.1.2.                                                                                                       |
| 10.2  | Performance aux STC                          | Température de cellule: 25 °C; éclairement: 1000 W·m <sup>-2</sup> avec répartition spectrale d'éclairement solaire de référence selon la CEI 904-3  |
| 10.3  | Essai d'isolement                            | 1000 V c.c. + deux fois la tension du système aux STC pendant 1 min<br>Résistance d'isolement non inférieure à 50 MΩ à 500 V c.c.                    |
| 10.4  | Mesure des coefficients de température       | Voir détail en 10.4.                                                                                                                                 |
| 10.5  | Mesure de NOCT                               | Eclairement solaire total: 800 W·m <sup>-2</sup><br>Température ambiante: 20 °C<br>Vitesse du vent: 1 m·s <sup>-1</sup>                              |
| 10.6  | Performance à NOCT                           | Température de cellule: NOCT<br>Eclairement: 800 W·m <sup>-2</sup> avec répartition spectrale d'éclairement solaire de référence selon la CEI 904-3  |
| 10.7  | Performance sous faible éclairement          | Température de cellule: 25 °C<br>Eclairement: 200 W·m <sup>-2</sup> avec répartition spectrale d'éclairement solaire de référence selon la CEI 904-3 |
| 10.8  | Essai d'exposition en site naturel           | Exposition énergétique totale: 60 kWh·m <sup>-2</sup>                                                                                                |
| 10.9  | Essai de tenue à l'échauffement localisé     | Cinq expositions de 1 h à un éclairement de 1000 W·m <sup>-2</sup> dans le pire des cas d'échauffement localisé                                      |
| 10.10 | Essai UV                                     | A l'étude                                                                                                                                            |
| 10.11 | Essai de cycles thermiques                   | 50 et 200 cycles de – 40 °C à + 85 °C                                                                                                                |
| 10.12 | Essai humidité-gel                           | 10 cycles de + 85 °C, 85 % HR à – 40 °C                                                                                                              |
| 10.13 | Essai continu de chaleur humide              | 1000 h à + 85 °C, 85 % HR                                                                                                                            |
| 10.14 | Essai de robustesse des sorties              | Selon la CEI 68-2-21                                                                                                                                 |
| 10.15 | Essai de vrillage                            | Angle de déformation: 1,2 °                                                                                                                          |
| 10.16 | Essai de charge mécanique                    | Deux cycles de charge uniforme de 2400 Pa appliquée pendant 1 h successivement à la face avant puis arrière                                          |
| 10.17 | Essai à la grêle                             | Bille de glace de 25 mm lancée à 23 m·s <sup>-1</sup> , dirigée sur 11 points d'impact                                                               |
| 10.18 | Exposition prolongée au rayonnement lumineux | Exposition de 800 W·m <sup>-2</sup> à 1000 W·m <sup>-2</sup> jusqu'à ce que P <sub>max</sub> soit stable dans les limites des ± 2 %                  |
| 10.19 | Recuit                                       | Exposition prolongée au rayonnement thermique à + 85 °C jusqu'à ce que P <sub>max</sub> soit stable dans les limites des ± 2 %                       |
| 10.20 | Essai de courant de fuite en milieu humide   | Pulvérisation d'eau sur les sorties et immersion du bord avec application de 500 V c.c. pour déterminer le courant de fuite                          |

## 10 Procédures d'essai

### 10.1 Examen visuel

#### 10.1.1 Objet

L'objet de cet essai est de détecter tout défaut visible du module.

**Table 1 – Summary of test levels**

| Test  | Title                                   | Test conditions                                                                                                                      |
|-------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10.1  | Visual inspection                       | See detailed inspection list in 10.1.2.                                                                                              |
| 10.2  | Performance at STC                      | Cell temperature: 25 °C; irradiance: 1000 W·m <sup>-2</sup> with IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution          |
| 10.3  | Insulation test                         | 1000 V d.c. + twice the open-circuit voltage of the system at STC for 1 min. Insulation resistance not less than 50 MΩ at 500 V d.c. |
| 10.4  | Measurement of temperature coefficients | See detail in 10.4                                                                                                                   |
| 10.5  | Measurement of NOCT                     | Total solar irradiance: 800 W·m <sup>-2</sup><br>Ambient temperature: 20 °C<br>Wind speed: 1 m·s <sup>-1</sup>                       |
| 10.6  | Performance at NOCT                     | Cell temperature: NOCT<br>Irradiance: 800 W·m <sup>-2</sup> with IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution          |
| 10.7  | Performance at low irradiance           | Cell temperature: 25 °C<br>Irradiance: 200 W·m <sup>-2</sup> with IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution         |
| 10.8  | Outdoor exposure test                   | 60 kWh·m <sup>-2</sup> total solar irradiation                                                                                       |
| 10.9  | Hot-spot endurance test                 | Five 1 h exposures to 1000 W·m <sup>-2</sup> irradiance in worst-case hot-spot condition                                             |
| 10.10 | UV test                                 | Under consideration                                                                                                                  |
| 10.11 | Thermal cycling test                    | 50 and 200 cycles from –40 °C to +85 °C                                                                                              |
| 10.12 | Humidity freeze test                    | 10 cycles from +85 °C, 85 % RH to –40 °C                                                                                             |
| 10.13 | Damp heat test                          | 1000 h at +85 °C, 85 % RH                                                                                                            |
| 10.14 | Robustness of terminations test         | As in IEC 68-2-21                                                                                                                    |
| 10.15 | Twist test                              | Deformation angle: 1,2 °                                                                                                             |
| 10.16 | Mechanical load test                    | Two cycles of 2400 Pa uniform load, applied for 1 h to front and back surfaces in turn                                               |
| 10.17 | Hail test                               | 25 mm diameter ice ball at 23,0 m·s <sup>-1</sup> , directed at 11 impact locations                                                  |
| 10.18 | Light-soaking                           | Light exposure of 800 W·m <sup>-2</sup> to 1000 W·m <sup>-2</sup> until P <sub>max</sub> is stable within 2 %                        |
| 10.19 | Annealing                               | Heat soak at 85 °C until P <sub>max</sub> is stable within 2 %                                                                       |
| 10.20 | Wet leakage current test                | Water spray of terminations and edge immersion with 500 V d.c. applied to determine leakage current                                  |

## 10 Test procedures

### 10.1 Visual inspection

#### 10.1.1 Purpose

To detect any visual defects in the module.

### 10.1.2 Procédure

Chaque module est examiné avec soin avec un éclairage supérieur ou égal à 1000 lx pour les conditions suivantes:

- surfaces externes cassées, fêlées, vrillées, désalignées ou déchirées;
- interconnexions ou jonctions défectueuses;
- vides et corrosion visible de toute couche mince du circuit actif;
- corrosion visible des connexions de sortie, des interconnexions et des barres omnibus;
- défauts de collage;
- surfaces collantes au toucher des matériaux plastiques;
- connexions défectueuses, parties électriques actives exposées;
- toute autre condition qui pourrait affecter les performances;
- bulles, délamination ou tout type de défaut formant un chemin continu entre une cellule et le bord du module.

Un relevé ou une photographie doit être fait de la nature ou de la position des fêlures, bulles ou délamination, etc., qui peuvent s'aggraver et affecter défavorablement la performance du module lors des essais qui suivent.

### 10.1.3 Exigences

Des conditions d'aspect autres que les défauts visuels majeurs décrits dans l'article 7 sont acceptables dans le but de l'homologation.

## 10.2 Performance aux STC

### 10.2.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment les performances électriques du module varient avec la charge dans les conditions d'essais normalisées STC (température de cellule:  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , éclairage:  $1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), en utilisant un éclairage solaire naturel ou un simulateur de classe A conforme aux exigences de la CEI 904-9.

### 10.2.2 Procédure

Déterminer les caractéristiques courant-tension du module dans les STC conformément à la CEI 904-1. Si nécessaire, corriger la température et l'éclairage conformément à la CEI 891.

## 10.3 Essai d'isolement

### 10.3.1 Objet

Cet essai a pour but de déterminer si le module est suffisamment isolé ou non, entre les éléments conducteurs et le châssis.

### 10.3.2 Conditions d'essai

L'essai doit être effectué sur les modules à la température ambiante de l'atmosphère environnante (voir la CEI 68-1) et à une humidité relative n'excédant pas 75 %.

### 10.1.2 Procedure

Carefully inspect each module under an illumination of not less than 1000 lx for the following conditions:

- broken, cracked, bent, misaligned or torn external surfaces;
- faulty interconnections or joints;
- voids in, and visible corrosion of any of the thin-film layers of the active circuit;
- visible corrosion of output connections, interconnections and bus bars;
- failure of adhesive bonds;
- tacky surfaces of plastic materials;
- faulty terminations, exposed live electrical parts;
- any other conditions which may affect performance;
- bubbles, delamination or any kind of defect forming a continuous path between a cell and the edge of the module.

Make note of and/or photograph the nature and position of any cracks, bubbles or delamination, etc. which may worsen and adversely affect the module performance in subsequent tests.

### 10.1.3 Requirements

Visual conditions other than the major visual defects listed in clause 7 are acceptable for the purpose of type approval.

## 10.2 Performance at STC

### 10.2.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at STC (cell temperature:  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , irradiance:  $1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) using natural sunlight or a class A simulator conforming to the requirements of IEC 904-9.

### 10.2.2 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module at STC, in accordance with IEC 904-1. When necessary, make temperature and irradiance corrections in accordance with IEC 891.

## 10.3 Insulation test

### 10.3.1 Purpose

To determine whether or not the module is sufficiently well insulated between current-carrying parts and the frame.

### 10.3.2 Test conditions

The test shall be made on modules at ambient temperature of the surrounding atmosphere (see IEC 68-1) and in a relative humidity not exceeding 75 %.

### 10.3.3 Procédure d'essai

- a) Les connexions de sortie du module sont mises en court-circuit et connectées au pôle positif d'un dispositif de mesure d'isolement à courant continu disposant d'un limiteur de courant. Fixer le courant limite à 50  $\mu$ A.
- b) Le châssis du module est connecté au pôle négatif du dispositif de mesure. Si le module n'a pas de châssis ou si le châssis est un mauvais conducteur, on monte le module sur une structure à support métallique qui est connectée au pôle négatif du dispositif de mesure.
- c) La tension délivrée par le dispositif de mesure est augmentée à raison de 500 V·s<sup>-1</sup> au maximum jusqu'à une tension maximale égale à 1000 V à laquelle on ajoute deux fois la tension maximale du système (c'est-à-dire la tension en circuit ouvert du système aux STC). La tension est maintenue à cette valeur pendant 1 min. Dans le cas où la tension maximale du système n'excède pas 50 V, la tension appliquée doit être de 500 V.
- d) La tension appliquée est ramenée à zéro puis le court-circuit des connexions du module est maintenu pendant 5 min, le dispositif de mesure restant connecté au module.
- e) Le court-circuit est enlevé.
- f) Les connexions du dispositif de mesure étant comme cela est spécifié aux étapes a) et b), une tension d'essai d'au moins 500 V (courant continu) est appliquée au module. La résistance d'isolement est mesurée.

### 10.3.4 Exigences d'essai

- Aucune rupture diélectrique (inférieure à 50  $\mu$ A) ou claquage en surface pendant l'étape c).
- La résistance d'isolement n'est pas inférieure à 50 M $\Omega$ .

## 10.4 Mesure des coefficients de température

### 10.4.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer les coefficients de température du courant ( $\alpha$ ) et de la tension ( $\beta$ ) à partir de mesures effectuées sur un module. Les coefficients ainsi déterminés sont valables pour l'éclairement sous lequel les mesures ont été effectuées. Pour les modules linéaires, ces coefficients sont également valables dans une gamme d'éclairement de  $\pm 30$  % de ce niveau. Cette procédure complète celle décrite dans la CEI 891 concernant la mesure de ces coefficients à partir d'un échantillon représentatif de cellules indépendantes. Les coefficients de température d'un module en couches minces peuvent dépendre de l'exposition énergétique et de l'histoire thermique du module. Lorsque référence est faite aux coefficients de température, l'histoire concernant les conditions et les résultats de l'exposition énergétique accompagnés d'essais thermiques doit être indiquée.

### 10.4.2 Equipement

- a) Un simulateur solaire (classe B ou mieux) conforme à la CEI 904-9. Des moyens pour mesurer l'éclairement, le courant de court-circuit et la tension de circuit ouvert conformément à l'article 2 de la CEI 904-1.

NOTE – L'utilisation d'un simulateur solaire pulsé est préférable car il crée un échauffement additionnel faible, lequel pourrait affecter le module pendant la mesure. Si un simulateur à éclairement continu est utilisé, il convient qu'il soit équipé d'un obturateur ou d'un dispositif équivalent pour minimiser la période d'éclairement à 0,5 s ou moins.

- b) Des moyens pour mesurer la température de la surface ou de la cellule du module en essai avec une précision de  $\pm 0,5$  °C.
- c) Une chambre d'essai capable de recevoir le module en essai, équipée d'une vitre transparente et de moyens permettant de chauffer ou de refroidir régulièrement son contenu dans la gamme de températures présentant un intérêt.

### 10.3.3 Procedure

- a) Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of a d.c. insulation tester with a current limitation. Set the current limit to 50  $\mu\text{A}$ .
- b) Connect the exposed metal parts of the module to the negative terminal of the tester. If the module has no frame or if the frame is a poor electrical conductor, mount the module on a metallic simulated support structure, which is to be connected to the negative terminal of the tester.
- c) Increase the voltage applied by the tester at a rate not exceeding  $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$  to a maximum equal to 1000 V plus twice the maximum system voltage (i.e. the open-circuit voltage of the system at STC). Maintain the voltage at this level for 1 min. If the maximum system voltage does not exceed 50 V, the applied voltage shall be 500 V.
- d) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the tester for 5 min, while still connected to the module.
- e) Remove the short circuit.
- f) Apply a d.c. voltage of not less than 500 V to the module, with the tester connected as in steps a) and b). Determine the insulation resistance.

### 10.3.4 Test requirements

- No dielectric breakdown (less than 50  $\mu\text{A}$ ) or surface cracking during step c).
- Insulation resistance not less than 50 M $\Omega$ .

## 10.4 Measurement of temperature coefficients

### 10.4.1 Purpose

To determine the temperature coefficients of current ( $\alpha$ ) and voltage ( $\beta$ ) from module measurements. The coefficients so determined are valid at the irradiance at which the measurements were made. For linear modules, they are also valid over an irradiance range of  $\pm 30 \%$  of this level. This procedure supplements that in IEC 891 for measuring these coefficients from a representative set of single cells. The temperature coefficients of a thin-film module may depend upon the irradiation and the thermal history of the module. When temperature coefficients are referred to, the history concerning the conditions and the results of irradiation along with thermal tests shall be indicated.

### 10.4.2 Apparatus

- a) Solar simulator (class B or better), conforming to IEC 904-9. Means to measure irradiance, short-circuit current and open-circuit voltage in accordance with clause 2 of IEC 904-1.

NOTE – The use of a pulsed solar simulator is preferred, since it creates little additional heat that could affect the module during the measurement. If a steady-state simulator is used, it should be equipped with a shutter or equivalent means to minimize the period of irradiance to 0,5 s or less.

- b) Means to measure the surface or cell temperature of the module to an accuracy of  $\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- c) A chamber capable of accommodating the module, equipped with a transparent window and means for evenly heating and cooling the contents over the temperature range of interest.

### 10.4.3 Procédure d'essai

- a) Déterminer le courant de court-circuit du module pour l'éclairement désiré, à température ambiante conformément à la CEI 904-1.
  - b) Installer le module en essai dans la chambre d'essai et un dispositif approprié de contrôle de l'éclairement à l'extérieur de la chambre d'essai dans l'axe du faisceau du simulateur. Effectuer les connexions à l'instrumentation.
  - c) Fermer la chambre d'essai et ajuster l'éclairement de façon que le module en essai délivre le courant de court-circuit déterminé à l'étape a). Utiliser le contrôleur d'éclairement pour maintenir cette valeur d'éclairement durant toute la période de l'essai.
  - d) Chauffer le module jusqu'à la température maximale d'intérêt, arrêter le chauffage et laisser le module se refroidir régulièrement.
  - e) Pendant que le module se refroidit, mesurer la tension de court-circuit et la tension en circuit ouvert à intervalles de 5 °C sur une gamme de températures d'au moins 30 °C présentant un intérêt.
- NOTE – La caractéristique courant-tension complète peut être mesurée à chaque température pour déterminer le facteur de correction  $K$  de la courbe, conformément à l'article 5 de la CEI 891.
- f) Tracer les valeurs de  $I_{SC}$  et  $V_{OC}$  en fonction de la température et construire, par la méthode des moindres carrés, la courbe passant par chaque groupe de données.
  - g) A partir des pentes des courbes de courant et de tension à un point à mi-distance entre les températures minimales et maximales de la gamme de températures présentant un intérêt, calculer les coefficients de température du module  $\alpha$  et  $\beta$ .

## 10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)

### 10.5.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer la NOCT d'un module.

### 10.5.2 Introduction

La température nominale d'utilisation des cellules (NOCT) est définie comme étant la température de jonction moyenne des cellules solaires à l'équilibre, pour un module monté sur une structure dégagée dans l'environnement de référence normalisé (SRE) suivant:

- angle d'inclinaison: à incidence normale du faisceau lumineux direct, à midi solaire local
- éclairement total:  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- température ambiante: 20 °C
- vitesse du vent:  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- charge électrique: aucune (circuit ouvert)

La NOCT peut être utilisée par le concepteur du système comme indication de la température de fonctionnement du module sur site et, par conséquent, est un paramètre utile pour comparer les performances des modules de conceptions différentes. Cependant, à chaque instant, la température réelle de fonctionnement est affectée par la structure du montage, l'éclairement, la vitesse du vent, la température ambiante, la température de couleur du ciel, les émissions et réflexions du sol et des objets proches. Pour des prévisions précises de performance, ces facteurs doivent être pris en compte.

Ce document décrit deux méthodes pour déterminer la NOCT.

La première, nommée la «méthode primaire», est universellement applicable à tous les modules photovoltaïques. Dans le cas des modules non conçus pour être montés sur une structure dégagée, cette méthode primaire peut être utilisée pour déterminer la température de jonction moyenne des cellules solaires, à l'équilibre, dans le SRE, le module étant monté suivant les recommandations du fabricant.

### 10.4.3 Procedure

- a) Determine the short-circuit current of the module at the desired irradiance at room temperature, in accordance with IEC 904-1.
  - b) Mount the test module in the chamber and a suitable irradiance monitor outside the chamber within the simulator beam. Connect to the instrumentation.
  - c) Close the chamber and set the irradiance so that the test module produces the short-circuit current determined in item a). Use the irradiance monitor to maintain this irradiance setting throughout the test.
  - d) Heat the module to the maximum temperature of interest, switch off the heater and allow the module to cool evenly.
  - e) As the module cools, take measurements of the short-circuit current and open-circuit voltage at 5 °C intervals over a range of interest of at least 30 °C.
- NOTE – The complete current-voltage characteristic may be measured at each temperature to determine the curve correction factor  $K$ , in accordance with clause 5 of IEC 891.
- f) Plot the values of  $I_{SC}$  and  $V_{OC}$  as functions of temperature and construct a least-squares-fit curve through each set of data.
  - g) From the slopes of the current and voltage curves at a point midway between the minimum and maximum temperatures of interest, calculate  $\alpha$  and  $\beta$ , the temperature coefficients for the module.

## 10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT)

### 10.5.1 Purpose

To determine the NOCT of the module.

### 10.5.2 Introduction

NOCT is defined as the equilibrium mean solar cell junction temperature within an open-rack mounted module in the following standard reference environment (SRE):

- tilt angle: at normal incidence to the direct solar beam at local solar noon
- total irradiance: 800 W·m<sup>-2</sup>
- ambient temperature: 20 °C
- wind speed: 1 m·s<sup>-1</sup>
- electrical load: nil (open circuit).

NOCT can be used by the system designer as a guide to the temperature at which a module will operate in the field and it is therefore a useful parameter when comparing the performance of different module designs. However, the actual operating temperature at any particular time is affected by the mounting structure, irradiance, wind speed, ambient temperature, sky temperature and reflections and emissions from the ground and nearby objects. For accurate performance predictions, these factors shall be taken into account.

Two methods for determining NOCT are described.

The first, called the primary method, is universally applicable to all PV modules. In the case of modules not designed for open-rack mounting, the primary method may be used to determine the equilibrium mean solar cell junction temperature in the SRE, with the module mounted as recommended by the manufacturer.

La seconde, nommée «méthode de la plaque de référence», est plus rapide mais applicable seulement aux modules photovoltaïques du type qui répond aux variations de température ambiante (dans une gamme restreinte de vitesse du vent et d'éclairement) de la même façon que les plaques de référence utilisées pour la mesure. Les modules au silicium cristallin avec la face avant en verre et la face arrière en plastique appartiennent à cette catégorie. Les plaques de référence sont étalonnées selon la même procédure que celle utilisée pour la méthode primaire.

### 10.5.3 Méthode primaire

#### 10.5.3.1 Principe

Cette méthode est basée sur l'acquisition de résultats de mesures directes de la température de cellule dans une gamme de conditions d'environnement incluant le SRE. Les résultats sont présentés de telle sorte qu'ils permettent une interpolation précise et reproductible de la valeur de NOCT.

La température de jonction d'une cellule solaire ( $T_j$ ) est principalement fonction de la température ambiante ( $T_{amb}$ ) de la vitesse moyenne du vent ( $V$ ) et de l'éclairement solaire total ( $G$ ) incident sur la surface active du module. La différence de température ( $T_j - T_{amb}$ ) est largement indépendante de la température ambiante et est essentiellement proportionnelle linéairement à l'éclairement pour des niveaux d'éclairement supérieurs à  $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . La procédure consiste à tracer ( $T_j - T_{amb}$ ) en fonction de  $G$  pour une période en conditions de vent favorables. Une valeur préliminaire de NOCT est ainsi déterminée en ajoutant  $20^\circ\text{C}$  à la valeur de ( $T_j - T_{amb}$ ) obtenue après interpolation à l'éclairement du SRE défini à  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Enfin, un facteur correctif, dépendant de la température ambiante moyenne et de la vitesse du vent durant la période d'essai, est ajouté à la valeur préliminaire de NOCT pour obtenir la valeur de NOCT corrigée à  $20^\circ\text{C}$  et  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### 10.5.3.2 Équipement

L'équipement suivant est requis:

a) une structure dégagée pour maintenir le ou les modules à essayer et les pyranomètres dans les conditions spécifiées en 10.5.3.3. La structure doit être conçue pour minimiser la conduction de chaleur dégagée par les modules et pour interférer aussi peu que possible avec le libre rayonnement de chaleur provenant de leurs surfaces avant et arrière;

NOTE – Si les modules ne sont pas conçus pour être installés sur une structure dégagée, il convient que le ou les modules à essayer soient installés selon les recommandations du fabricant.

b) un pyranomètre, installé dans le plan du ou des modules à  $0,3 \text{ m}$  au plus du champ d'essai;

c) des instruments pour mesurer la vitesse du vent jusqu'à  $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ainsi que la direction du vent, installés à environ  $0,7 \text{ m}$  au-dessus du bord supérieur du ou des modules et à environ  $1,2 \text{ m}$  vers l'est ou l'ouest;

d) une sonde de température ambiante ayant une constante de temps proche de celle du ou des modules, installée dans une enceinte obscure bien ventilée, près des sondes de vent;

e) des sondes de température de cellule, maintenues par soudure ou par un adhésif conducteur thermique aux faces arrières de deux cellules solaires situées près du milieu de chaque module à essayer, ou bien tout autre équipement nécessaire pour la mesure de la température d'une cellule par une méthode approuvée par la CEI;

f) un système d'acquisition des données pour enregistrer les paramètres suivants à des intervalles inférieurs ou égaux à  $60 \text{ s}$ :

#### Paramètres:

éclairement  
température ambiante  
température de cellule  
vitesse du vent  
direction du vent

*Précision:* la précision globale de NOCT doit être de  $\pm 1 \text{ K}$ .

The second, called the secondary (reference-plate) method, is faster but is applicable only to PV modules of the type which respond to changes of ambient temperature (within restricted ranges of wind speed and irradiance) in the same way as the reference plates used in the measurement. Modules with a glass front and plastic back are in this category. The reference plates are calibrated using the same procedure as in the primary method.

### 10.5.3 Primary method

#### 10.5.3.1 Principle

This method is based on gathering actual measured cell temperature data under a range of environmental conditions including the SRE. The data are presented in a way that allows accurate and repeatable interpolation of the NOCT.

The temperature of the solar cell junction ( $T_j$ ) is primarily a function of the ambient temperature ( $T_{amb}$ ), the average wind speed ( $V$ ) and the total solar irradiance ( $G$ ) incident on the active surface of the module. The temperature difference ( $T_j - T_{amb}$ ) is largely independent of the ambient temperature and is essentially linearly proportional to the irradiance at levels above  $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . The procedure calls for plotting ( $T_j - T_{amb}$ ) against  $G$  for a period when wind conditions are favourable. A preliminary NOCT value is then determined by adding  $20^\circ\text{C}$  to the value of ( $T_j - T_{amb}$ ) interpolated at the SRE irradiance of  $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Finally, a correction factor, dependent on the average temperature and wind speed during the test period, is added to the preliminary NOCT to correct it to  $20^\circ\text{C}$  and  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### 10.5.3.2 Apparatus

The following apparatus is required:

- a) an open rack to support the test module(s) and pyranometer in the specified manner (see 10.5.3.3). The rack shall be designed to minimize heat conduction from the modules and to interfere as little as possible with the free radiation of heat from their front and back surfaces;

NOTE – In the case of modules not designed for open-rack mounting, the test module(s) should be mounted as recommended by the manufacturer.

- b) a pyranometer, mounted in the plane of the module(s) and within 0,3 m of the test array;
- c) instruments to measure wind speed down to  $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  and wind direction, installed approximately 0,7 m above the top of the module(s) and 1,2 m to the east or west;
- d) an ambient temperature sensor, with a time constant approaching that of the module(s), installed in a shaded enclosure with good ventilation near the wind sensors;
- e) cell temperature sensors, attached by solder or thermally conductive adhesive to the backs of two solar cells near the middle of each test module, or other equipment necessary for IEC-approved measurement of cell temperature;
- f) a data acquisition system to record the following parameters within an interval of no more than 60 s:

*Parameter:*

irradiance  
ambient temperature  
cell temperature  
wind speed  
wind direction

*Accuracy:* the total accuracy of NOCT shall be  $\pm 1 \text{ K}$ .

### 10.5.3.3 Installation du module à essayer

*Angle d'inclinaison:* le ou les modules à essayer doivent être installés de telle façon qu'ils soient perpendiculaires au soleil ( $\pm 5^\circ$ ), à midi solaire local.

*Hauteur:* le bord inférieur du ou des modules à essayer doit être à au moins 0,6 m au-dessus du niveau du sol ou du plan horizontal d'essai.

*Configuration:* pour simuler les conditions thermiques limites des modules installés sur un champ, le ou les modules à essayer doivent être montés sur une surface plane qui s'étende à au moins 0,6 m dans toutes les directions autour du ou des modules. Pour les modules conçus pour un montage libre dans des installations à structure arrière dégagée, des plaques en aluminium noir ou d'autres modules de la même conception doivent être utilisés pour couvrir l'aire non recouverte de la surface plane.

*Aire environnante:* il ne doit y avoir aucune obstruction empêchant l'éclairement total du ou des modules en essai pendant la période comprise entre 4 h avant midi solaire local et 4 h après midi solaire local. Le sol autour du ou des modules ne doit pas permettre de réflexion solaire anormalement élevée et doit être plat et de niveau ou en pente descendante dans toutes les directions par rapport à l'appareillage d'essai. De l'herbe, ou tout autre type de végétation, de l'asphalte noir ou de la boue sont acceptables sur la surface environnante locale.

### 10.5.3.4 Procédure d'essai

- a) Mettre en place l'équipement et le ou les modules à essayer comme décrit en 10.5.3.3. S'assurer que le ou les modules à essayer sont en circuit ouvert.
- b) Par une journée ensoleillée, avec un ciel dégagé et un vent faible, enregistrer en fonction du temps les températures des cellules, la température ambiante, l'éclairement, la vitesse du vent et sa direction.
- c) Rejeter toutes les données qui ont été relevées dans les conditions suivantes:
  - éclairement inférieur à  $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;
  - vitesses du vent en dehors de la gamme  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;
  - températures ambiantes en dehors de la gamme  $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$  ou bien variant de plus de  $5^\circ\text{C}$ ;
  - donnée prise pendant une période de 10 min suivant un coup de vent de plus de  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;
  - direction du vent dans un angle de  $\pm 20^\circ$  par rapport à l'est ou à l'ouest.
- d) A partir d'au moins 10 points de données acceptables, couvrant une gamme d'éclairements d'au moins  $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , tracer  $(T_j - T_{\text{amb}})$  en fonction de l'éclairement. Dessiner une droite passant par les points des données.
- e) A partir de la droite, déterminer la valeur de  $(T_j - T_{\text{amb}})$  à  $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  et ajouter  $20^\circ\text{C}$  à cette valeur pour obtenir la valeur préliminaire de NOCT.
- f) Calculer la température ambiante moyenne,  $T_{\text{amb}}$ , et la vitesse moyenne du vent  $V$ , associées aux points de données acceptables et déterminer le facteur correctif approprié à partir de la figure 2.
- g) Ajouter le facteur correctif à la valeur préliminaire de NOCT pour obtenir la valeur de NOCT corrigée à  $20^\circ\text{C}$  et  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Cette somme est la NOCT du module.
- h) Répéter la totalité de la procédure un autre jour et faire la moyenne des deux valeurs de NOCT si elles ne diffèrent pas de plus de  $0,5^\circ\text{C}$ . Sinon, répéter la procédure un troisième jour et faire la moyenne des trois valeurs de NOCT.

### 10.5.3.3 Test module mounting

*Tilt angle:* the test module(s) shall be positioned so that it (they) is (are) normal to the direct solar beam (within  $\pm 5^\circ$ ) at local solar noon.

*Height:* the bottom edge of the test module(s) shall be 0,6 m or more above the local horizontal plane or ground level.

*Configuration:* to simulate the thermal boundary conditions of modules installed in an array, the test module(s) shall be mounted within a planar surface that extends at least 0,6 m beyond the module(s) in all directions. For modules designed for free-standing, open-back installations, black aluminum plates or other modules of the same design shall be used to fill out the remaining open area of the planar surface.

*Surrounding area:* there shall be no obstructions to prevent full irradiance of the test module(s) during the period from 4 h before local solar noon to 4 h after local solar noon. The ground surrounding the module(s) shall not have an abnormally high solar reflectance and shall be flat and level or sloping away from the test fixture in all directions. Grass, other types of vegetation, black asphalt or dirt are acceptable for the local surrounding area.

### 10.5.3.4 Procedure

- a) Set up the apparatus with the test module(s), as described in 10.5.3.3. Ensure that the test module(s) are open-circuited.
- b) On a suitable, clear, sunny day with little wind, record, as a function of time, the cell temperature, the ambient temperature, the irradiance, wind speed and wind direction.
- c) Reject all data taken during the following conditions:
  - irradiance below  $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;
  - wind speeds outside the range  $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \pm 0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
  - ambient temperatures outside the range  $20^\circ \text{C} \pm 15^\circ \text{C}$  or varying by more than  $5^\circ \text{C}$ ;
  - a 10 min interval after a wind gust of more than  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
  - wind direction within  $\pm 20^\circ$  of east or west.
- d) From a minimum of 10 acceptable data points covering an irradiance range of at least  $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  plot  $(T_j - T_{\text{amb}})$  as a function of irradiance. Draw a straight line through the data points.
- e) From the straight line, determine the value of  $(T_j - T_{\text{amb}})$  at  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  and add  $20^\circ \text{C}$  to give the preliminary value of NOCT.
- f) Calculate the average ambient temperature,  $T_{\text{amb}}$ , and the average wind speed,  $V$ , associated with the acceptable data points and determine the appropriate correction factor from figure 2.
- g) Add the correction factor to the preliminary NOCT to correct it to  $20^\circ \text{C}$  and  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . This sum is the NOCT of the module.
- h) Repeat the entire procedure on a different day and average the two values of NOCT if they are within  $0,5^\circ \text{C}$ . If the difference is more than  $0,5^\circ \text{C}$ , repeat the procedure on a third day and average all three values of NOCT.

#### 10.5.4 Méthode de la plaque de référence

##### 10.5.4.1 Principe

Cette méthode est basée sur le principe de la comparaison de la température du ou des modules à essayer avec celle des plaques de référence (étalon) dans les mêmes conditions d'éclairement, de température ambiante et de vitesse du vent. La température, à l'équilibre, de la plaque de référence dans des conditions du SRE est déterminée par la méthode primaire décrite en 10.5.3.

La NOCT du module à essayer est obtenue en corrigeant la différence de température entre le module à essayer et les plaques de référence pour la ramener aux conditions du SRE et en additionnant cette valeur obtenue à la température moyenne, à l'équilibre, des plaques de référence, dans les conditions de SRE. Il a été établi que la différence de température mesurée est insensible aux fluctuations de l'éclairement et aux faibles variations de la température ambiante et de la vitesse du vent.

##### 10.5.4.2 Plaques de référence

Les plaques de référence doivent être faites en alliage d'aluminium dur aux dimensions indiquées sur la figure 3. La surface avant doit être peinte en noir mat et la surface arrière en blanc brillant. Des moyens doivent être fournis pour mesurer la température des plaques de référence avec la précision requise. Une méthode utilisant deux thermocouples est illustrée à la figure 3. Un thermocouple est maintenu, dans chaque branche des rainures fraisées, à l'aide d'un adhésif conducteur thermique et isolant électrique, après que tout isolant a été retiré sur une distance de 25 mm à partir du point de jonction. La partie restante des fils du thermocouple est finalement maintenue dans la rainure avec du mastic d'aluminium.

Au moins trois plaques de référence doivent être fabriquées et étalonnées par la méthode primaire décrite en 10.5.3. Les températures d'équilibre ainsi déterminées doivent être dans la gamme 46 °C à 50 °C et ne doivent pas différer de plus de 1 °C entre elles. Une de ces plaques de référence doit être inutilisée et gardée comme plaque de contrôle. Avant une mesure de NOCT, les températures d'équilibre des plaques de référence doivent être enregistrées et comparées avec celle de la plaque de contrôle dans les conditions dites acceptables, définies au point c) de 10.5.3.4, afin de détecter un quelconque changement de leurs propriétés thermiques. Si les températures des plaques de référence diffèrent de plus de 1 °C, rechercher quelle en est la raison et apporter les corrections nécessaires avant de continuer l'essai.

##### 10.5.4.3 Site d'essai

Choisir un site d'essai plat avec perturbation éolienne provenant des bâtiments, arbres et reliefs topographiques négligeables. Eviter les réflexions solaires non uniformes venant du sol ainsi que des objets placés derrière le plan d'essai.

##### 10.5.4.4 Equipement

L'équipement suivant est requis (voir figure 4):

- a) un nombre de plaques de référence, comme celles définies en 10.5.4.2 (une de plus que le nombre de modules à essayer simultanément);
- b) un pyranomètre ou dispositif photovoltaïque de référence;
- c) une structure dégagée pour maintenir le ou les modules à essayer, les plaques de référence et le pyranomètre de telle sorte qu'ils soient perpendiculaires au soleil (à  $\pm 5^\circ$ ) à midi solaire local. Chaque module doit être encadré étroitement par deux plaques de référence, le bord inférieur du ou des modules étant approximativement à 1 m au-dessus du sol. La structure doit être conçue pour minimiser la conduction de 1 m au-dessus du sol. La structure doit être conçue pour minimiser la conduction de chaleur dégagée par le ou les modules et les plaques ainsi que pour interférer aussi peu que possible avec le rayonnement libre venant de leurs faces avant et arrière;

#### 10.5.4 Secondary method (reference-plate method)

##### 10.5.4.1 Principle

This method is based on the principle of comparing the temperature of the test module(s) with that of standard reference plates under the same conditions of irradiance, ambient temperature and wind speed. The steady-state temperature of the reference plate in the SRE is determined using the primary method described in 10.5.3.

The NOCT of the test module is obtained by correcting the temperature difference between the test module and the reference plates to the SRE and adding this value to the mean steady-state temperature of the reference plates in the SRE. It has been established that the measured temperature difference is insensitive to fluctuations in irradiance and to small changes in ambient temperature and wind speed.

##### 10.5.4.2 Reference plates

The reference plates shall be made of hard aluminum alloy to the dimensions shown in figure 3. The front surface shall be painted matt black and the back surface gloss white. Means shall be provided for measuring the temperature of the reference plates to the required accuracy. One method employing two thermocouples is shown in figure 3. One thermocouple is cemented into each branch of the milled groove with thermally conductive and electrically insulating adhesive, after removing any insulation for a distance of 25 mm from the junction. The remainder of the thermocouple wires are finally cemented into the groove with aluminum putty.

At least three reference plates shall be made and calibrated, using the primary method described in 10.5.3. The steady-state temperatures so determined shall be within the range 46 °C to 50 °C and shall differ by no more than 1 °C. One of the reference plates shall be kept unused as a control. Before making a NOCT measurement, the steady-state temperatures of the reference plates shall be checked against that of the control plate under the acceptable conditions indicated in item c) of 10.5.3.4 to detect any change in their thermal properties. If the measured temperatures of the reference plates differ by more than 1 °C, the reason for this shall be investigated and necessary corrective action taken before proceeding with the test.

##### 10.5.4.3 Test site

Select a flat test site with negligible wind disturbance from buildings, trees and topographical features. Non-uniform reflections from the ground and objects behind the test plane shall be avoided.

##### 10.5.4.4 Apparatus

The following apparatus is required (see figure 4).

- a) a number of reference plates, as described in 10.5.4.2 (one more than the number of modules to be tested simultaneously);
- b) a pyranometer or a PV reference device;
- c) an open rack to support the test module(s), reference plates and pyranometer so that they are normal to the direct solar beam (within  $\pm 5^\circ$ ) at local solar noon. Each module shall be closely flanked by two reference plates, with the lower edge of the module(s) approximately 1 m above the ground. The rack shall be designed to minimize heat conduction from the module(s) and plates and to interfere as little as possible with the free radiation of heat from their front and back surfaces;

- d) des instruments pour mesurer la vitesse du vent jusqu'à  $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ainsi que la direction du vent, installés à environ 0,7 m au-dessus du bord supérieur des modules et à environ 1,2 m vers l'est ou l'ouest, comme illustré à la figure 4;
- e) une sonde de température ambiante ayant une constante de temps proche de celle des modules, installée dans une enceinte abritée bien ventilée, près des sondes de vent;
- f) des sondes de température de cellule, maintenues par soudure ou par un adhésif conducteur thermique aux faces arrières de deux cellules solaires situées au centre de chaque module à essayer, ou bien tout autre équipement nécessaire pour la mesure de la température d'une cellule par une méthode approuvée par la CEI;
- g) un système d'acquisition de données pour enregistrer les paramètres suivants à des intervalles inférieurs ou égaux à 60 s:

*Paramètres*

éclairement  
 température ambiante  
 température de cellule  
 vitesse du vent  
 direction du vent  
 températures des plaques de référence

*Précision:* la précision globale de NOCT doit être de  $\pm 1 \text{ K}$ .

10.5.4.5 *Procédure d'essai*

- a) Mettre en marche l'équipement ainsi que le ou les modules en essai et les plaques de référence comme décrit à la figure 4. S'assurer que le ou les modules en essai sont en circuit ouvert.
- b) Par une journée ensoleillée, avec un ciel dégagé et un vent faible, enregistrer en fonction du temps la température de cellule du ou des modules à essayer, les températures des plaques de référence, l'éclairement, la température ambiante, la vitesse du vent et sa direction.
- c) Rejeter toutes les valeurs qui ont été relevées pendant que (ou sur une période de 15 min après que) les conditions ci-après ont été observées:
  - éclairement inférieur à  $750 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ou supérieur à  $850 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;
  - vitesse du vent supérieure à  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  de façon continue pendant plus de 30 s;
  - vitesse du vent inférieure à  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;
  - direction du vent dans un angle de  $\pm 20^\circ$  par rapport à l'est ou à l'ouest;
  - différence entre les températures des plaques de référence supérieure à  $1^\circ\text{C}$ .
- d) Pour chaque point de données retenu, prendre la température moyenne de cellule  $T_P$  de toutes les plaques de référence.
- e) Pour chaque point de données retenu et pour chaque module à essayer,
  - 1) prendre la température moyenne de cellule  $T_J$  et calculer

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P$$

Si  $\Delta T_{JP}$  varie de plus de  $4^\circ\text{C}$ , la méthode de la plaque de référence n'est pas applicable et la méthode primaire décrite en 10.5.3 doit être utilisée;

- 2) calculer la moyenne de toutes les valeurs de  $\Delta T_{JP}$  pour obtenir  $\Delta T_{JPM}$ ;

- d) instruments to measure wind speed down to  $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  and wind direction, installed approximately 0,7 m above the top of the module(s) and 1,2 m to the east or west, as shown in figure 4;
- e) an ambient temperature sensor with a time constant approaching that of the modules, installed in a shaded enclosure with good ventilation near the wind sensors;
- f) cell temperature sensors, attached by solder or thermally conductive adhesive to the backs of two solar cells near the middle of each module, or other equipment necessary for IEC-approved measurement of cell temperature;
- g) a data acquisition system to record the following parameters within an interval of no more than 60 s:

*Parameter:*

irradiance  
 ambient temperature  
 cell temperature  
 wind speed  
 wind direction  
 reference plate temperature

*Accuracy:* the total accuracy of the NOCT shall be  $\pm 1 \text{ K}$ .

#### 10.5.4.5 Procedure

- a) Set up the apparatus with the test module(s) and reference plates as shown in figure 4. Ensure that the test module(s) are open-circuited.
- b) On a suitable, clear, sunny day with little wind, record, as a function of time, the cell temperature(s) of the test module(s), the reference-plate temperature, irradiance, ambient temperature, wind speed and wind direction.
- c) Reject all data taken during, or for 15 min after, the following conditions:
  - irradiance below  $750 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  or above  $850 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;
  - wind speeds above  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  that continue for more than 30 s;
  - wind speeds below  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;
  - wind direction within  $\pm 20^\circ$  of east or west;
  - differences between temperatures of the reference plates greater than  $1^\circ\text{C}$ .
- d) For each data point in the selected period, take the mean temperature  $T_P$  of all the reference plates.
- e) For each data point in the selected period and for each test module,
  - 1) take the mean cell temperature  $T_J$  and calculate

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P$$

If  $\Delta T_{JP}$  varies by more than  $4^\circ\text{C}$ , the reference plate method is not applicable and the primary method described in 10.5.3 shall be used;

- 2) average all values of  $\Delta T_{JP}$  to give  $\Delta T_{JPM}$ ;

3) corriger  $\Delta T_{JPm}$  aux conditions de SRE de la façon suivante:

$$\Delta T_{JPm} (\text{corrigé}) = \frac{f}{B \cdot R} \cdot \Delta T_{JPm} (\text{non corrigé})$$

où

$f$  est le facteur de correction de l'éclairement et est égal à 800 divisé par l'éclairement moyen sur la période sélectionnée;

$B$  est le facteur de correction de la température ambiante et est obtenu à partir de la température ambiante moyenne  $T_{amb}$  sur la période sélectionnée en utilisant le tableau suivant (une interpolation linéaire pour les valeurs de  $B$  est acceptable);

| $T_{amb}$<br>°C | $B$  |
|-----------------|------|
| 0               | 1,09 |
| 10              | 1,05 |
| 20              | 1,00 |
| 30              | 0,96 |
| 40              | 0,92 |
| 50              | 0,87 |

$R$  est le facteur de correction du vent et est obtenu à partir de la vitesse moyenne du vent sur la période sélectionnée, en utilisant le graphique de la figure 5.

4) calculer la NOCT du module en essai comme suit:

$$NOCT = T_{PR} + \Delta T_{JPm} (\text{corrigé})$$

où  $T_{PR}$  est la température moyenne, à l'équilibre, des plaques de référence dans les conditions de SRE.

f) Répéter la procédure dans son intégralité un autre jour et faire la moyenne des deux valeurs de NOCT obtenues pour chaque module en essai si elles ne diffèrent pas de plus de 0,5 °C. Sinon, répéter la procédure un troisième jour et faire la moyenne des trois valeurs de NOCT obtenues.

3) correct  $\Delta T_{JPm}$  to the SRE as follows:

$$\Delta T_{JPm} \text{ (corrected)} = \frac{f}{B \cdot R} \cdot \Delta T_{JPm} \text{ (uncorrected)}$$

where

$f$  is the irradiance correction factor and is 800 divided by the average irradiance over the selected period;

$B$  is the ambient temperature correction factor and is obtained from the average ambient temperature  $T_{amb}$  over the selected period using the following table (linear interpolation for  $B$  values is acceptable);

| $T_{amb}$<br>°C | $B$  |
|-----------------|------|
| 0               | 1,09 |
| 10              | 1,05 |
| 20              | 1,00 |
| 30              | 0,96 |
| 40              | 0,92 |
| 50              | 0,87 |

$R$  is the wind correction factor and is obtained from the average wind speed over the selected period, using the graph in figure 5.

4) calculate the NOCT of the test module as follows:

$$NOCT = T_{PR} + \Delta T_{JPm} \text{ (corrected)}$$

where  $T_{PR}$  is the mean steady-state temperature of the reference plates in the SRE.

f) Repeat the entire procedure on a different day and average the two values of NOCT for each test module if they are within 0,5 °C. If the difference is more than 0,5 °C, repeat the procedure on a third day and average the three values of NOCT.

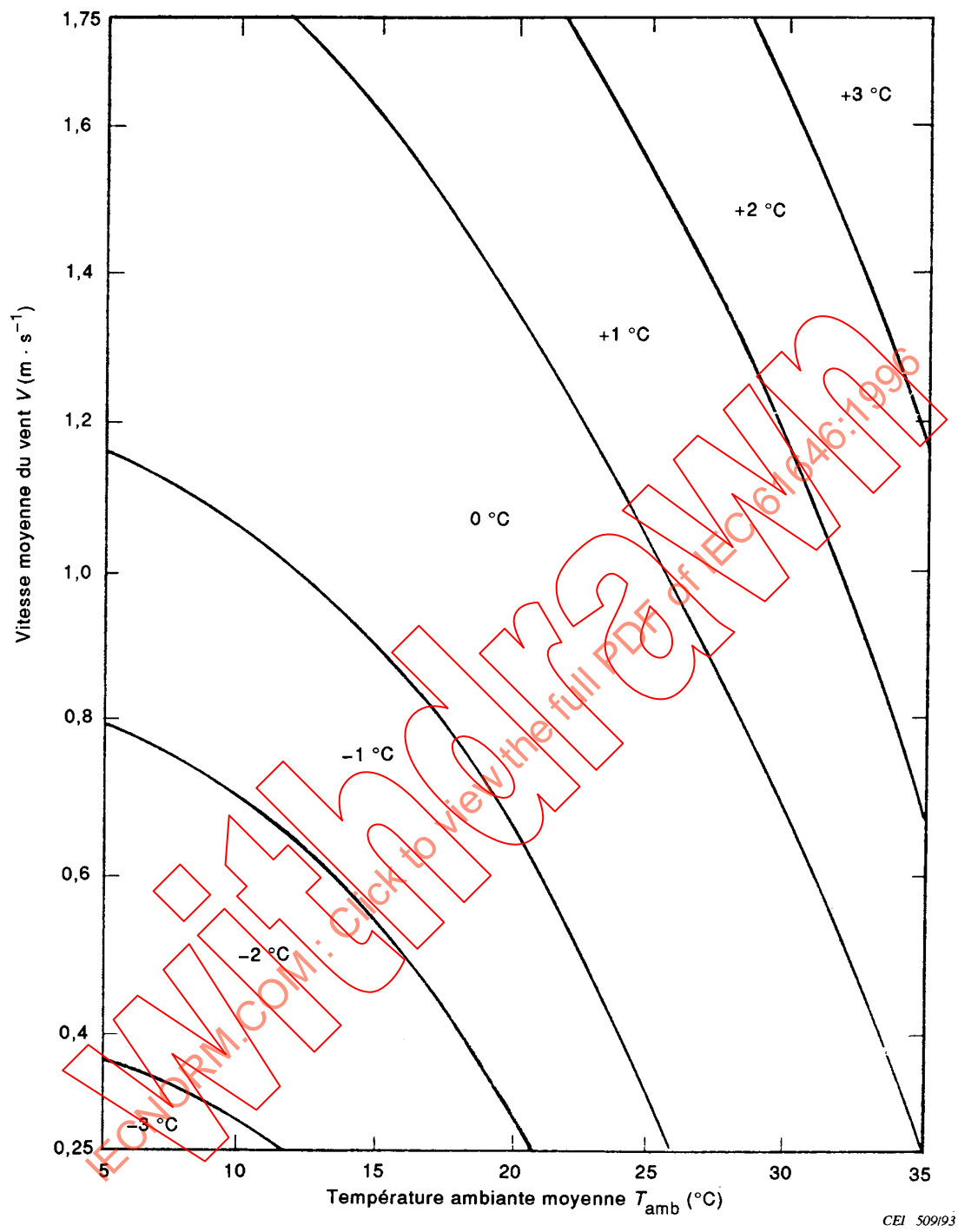


Figure 2 – Facteur de correction de NOCT

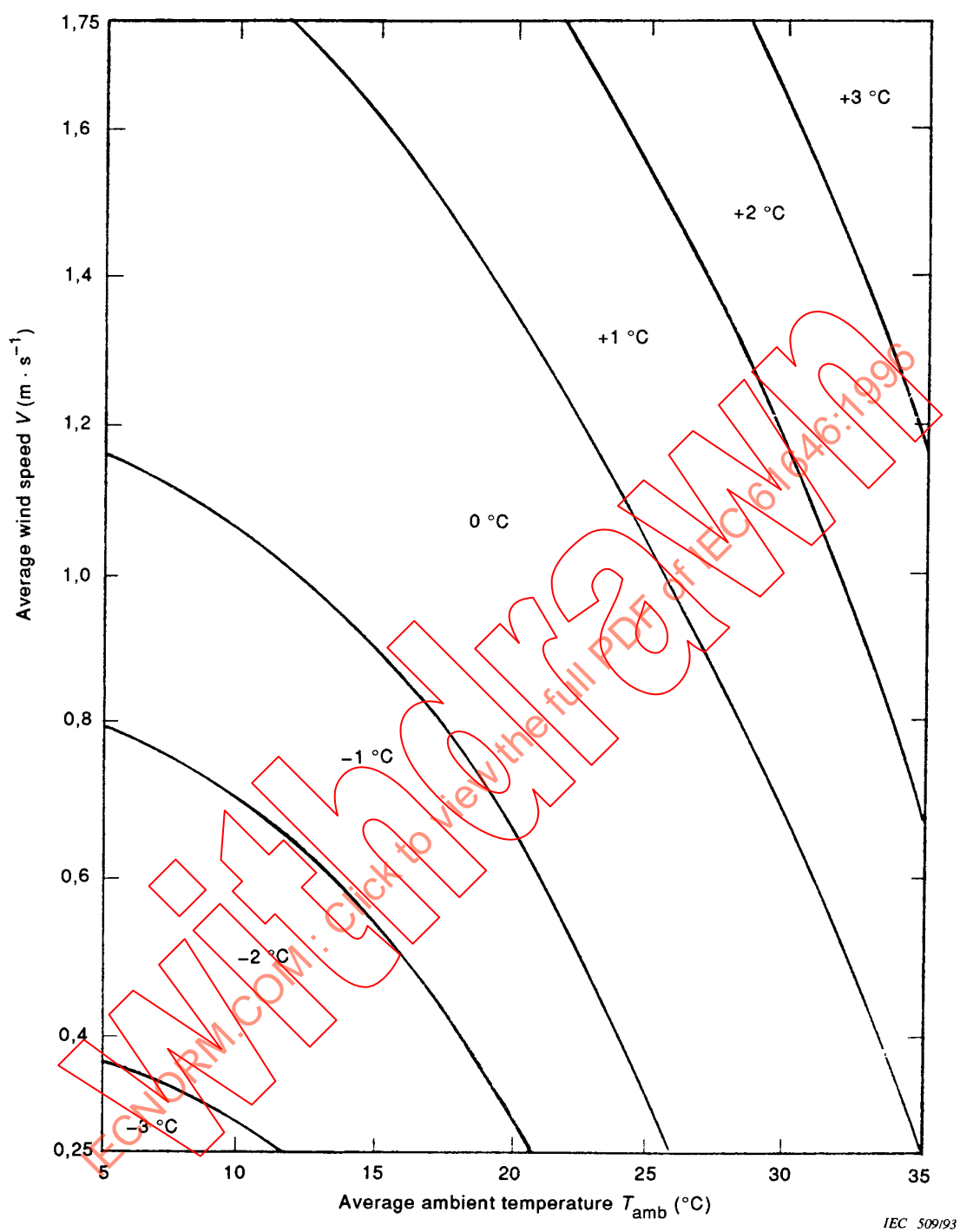


Figure 2 – NOCT correction factor

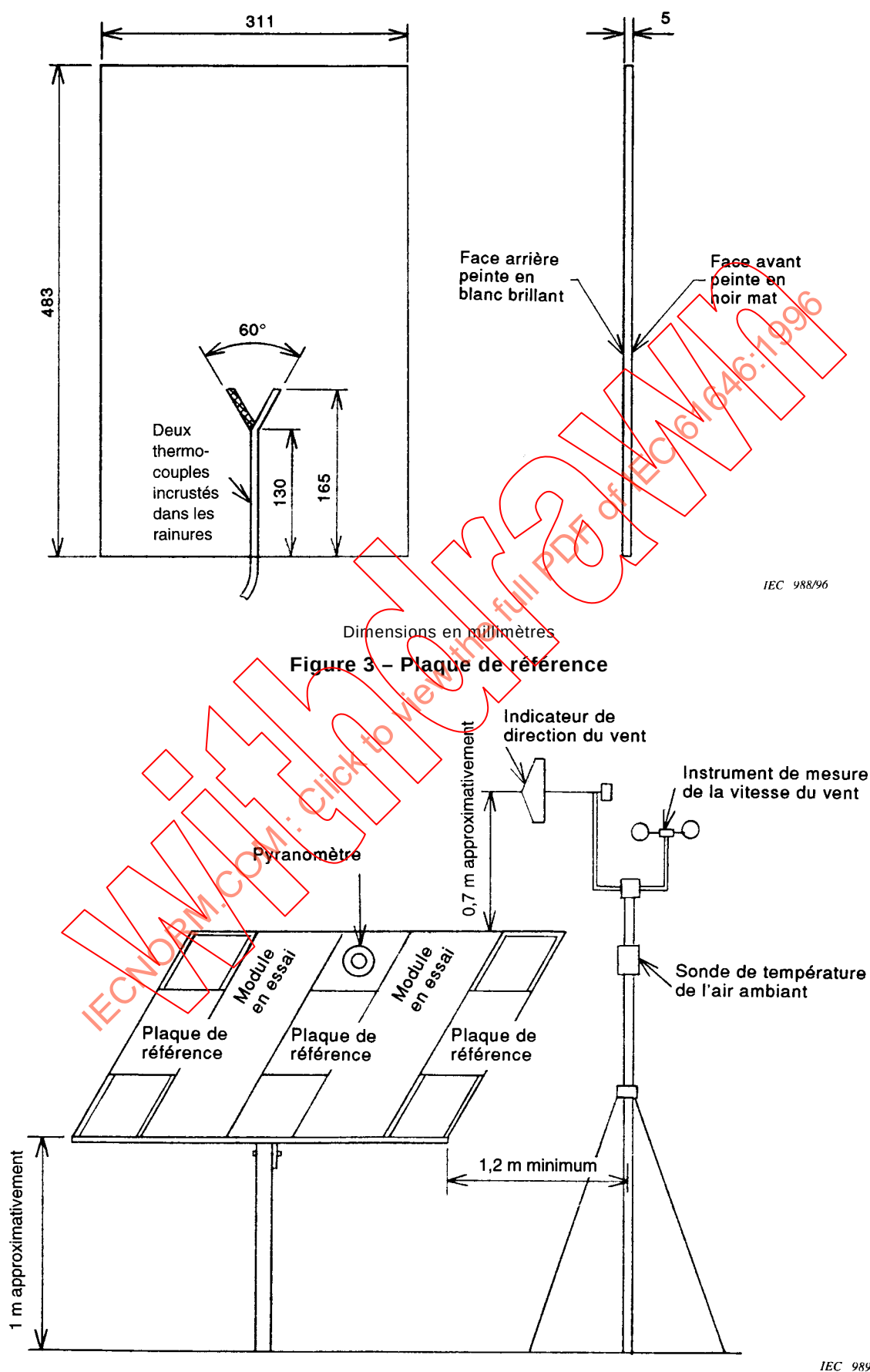


Figure 4 – Mesure de la NOCT par la méthode de la plaque de référence

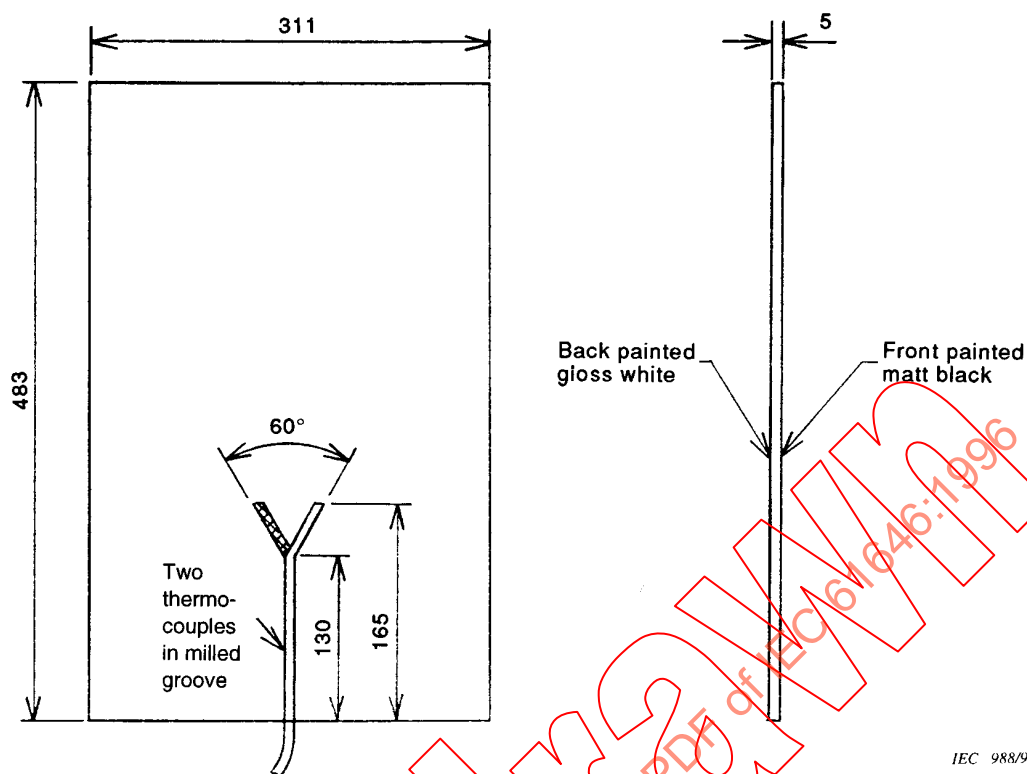


Figure 3 – Reference plate

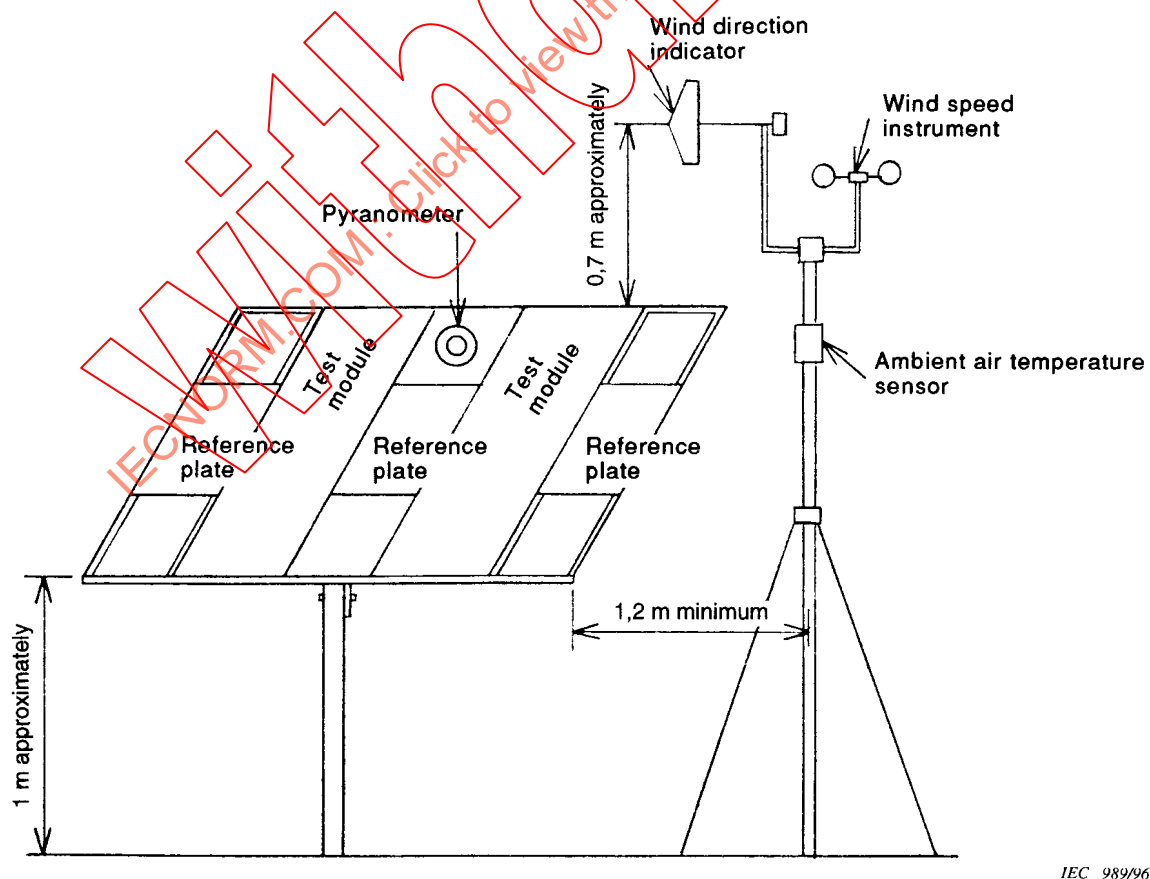


Figure 4 – NOCT measurement by reference plate method

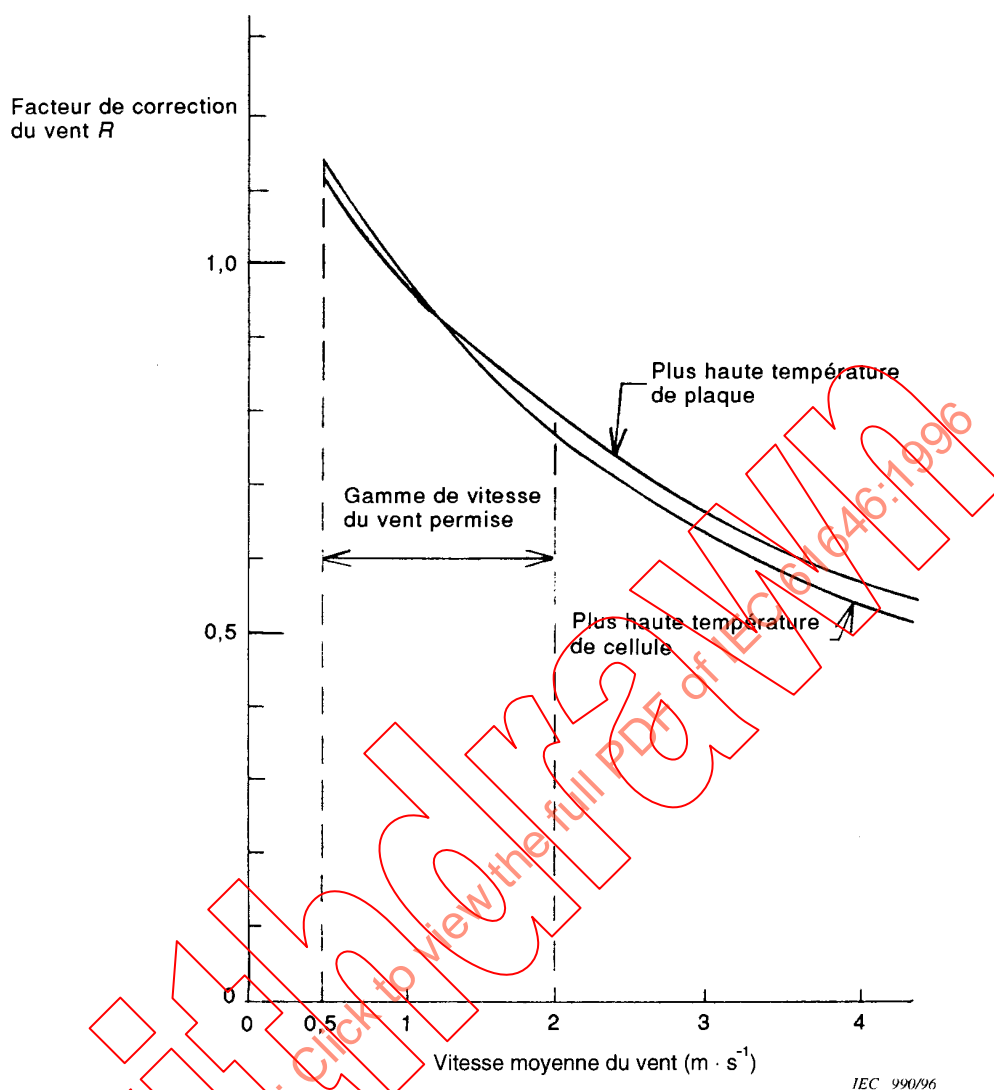


**Figure 5 – Facteur de correction du vent**

## 10.6 Performance à NOCT

### 10.6.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à la NOCT avec un éclairement de  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  et une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 904-3.

### 10.6.2 Procédure d'essai

Chauffer le module uniformément jusqu'à atteindre sa NOCT et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairement de  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou un simulateur de classe A conforme aux exigences de la CEI 904-9.

Alternativement, transposer la caractéristique I-V mesurée à la température ambiante sous  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  aux conditions de NOCT conformément à la CEI 891.

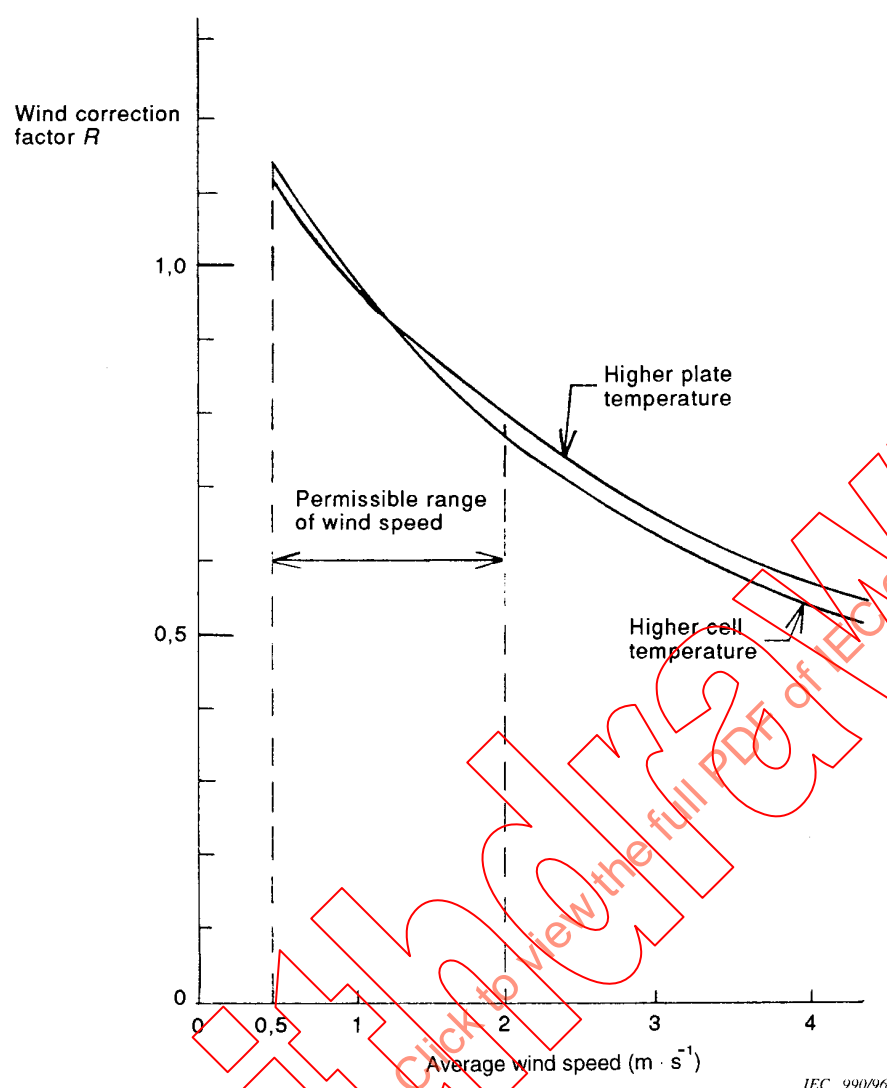


**Figure 5 – Wind correction factor**

## 10.6 Performance at NOCT

### 10.6.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at NOCT and an irradiance of  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , with the IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution.

### 10.6.2 Procedure

Heat the module uniformly to NOCT and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 904-1, using natural sunlight or a class A simulator conforming to the requirements of IEC 904-9.

Alternatively, transpose the I-V characteristic measured at room temperature and  $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  to NOCT in accordance with IEC 891.

## 10.7 Performance sous faible éclairement

### 10.7.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à 25 °C, sous un éclairement de 200 W·m<sup>-2</sup> (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou un simulateur de classe A conforme aux exigences de la CEI 904-9.

### 10.7.2 Procédure d'essai

Déterminer la caractéristique courant-tension du module à 25 °C ± 2 °C et sous un éclairement de 200 W·m<sup>-2</sup> (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou un simulateur de classe A conforme aux exigences de la CEI 904-9. L'éclairement doit être ramené au niveau spécifié en utilisant des filtres neutres (tels qu'un écran opacifié ou un écran de gaze) ou toute autre technique qui ne modifie pas la répartition d'éclairement spectral.

Faire les corrections de température et d'éclairement quand elles sont nécessaires.

## 10.8 Essai d'exposition en site naturel

### 10.8.1 Objet

Cet essai a pour but de faire une évaluation préliminaire de la capacité d'un module à supporter une exposition dans des conditions de site naturel et de révéler les effets d'une dégradation synergétique qui ne pourraient pas être détectés par des essais effectués en laboratoire.

NOTE – Il y a lieu que tout jugement absolu sur la durée de vie d'un module ayant satisfait à cet essai soit considéré avec prudence parce que l'essai est de courte durée et les conditions d'environnement variées. Il convient d'utiliser cet essai seulement comme un guide ou un indicateur d'éventuels problèmes.

### 10.8.2 Equipement

- a) Un dispositif de mesure de l'éclairement solaire avec une incertitude de ± 10 %.
- b) Des moyens pour fixer le module, conformément aux recommandations du constructeur, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement.

### 10.8.3 Procédure d'essai

- a) Mettre le module en circuit ouvert et le fixer, conformément aux recommandations du constructeur, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions de site naturel. Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le constructeur avant que le module ne soit essayé.
- b) Exposer le module à un éclairement cumulé de 60 kWh·m<sup>-2</sup>, mesuré par le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions conformes aux climats modérés d'air libre définis dans la CEI 721-2-1.

### 10.8.4 Mesures finales

Répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

### 10.8.5 Exigences

- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La puissance maximale de sortie aux STC doit excéder la puissance minimale définie par le constructeur.
- La résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

## 10.7 *Performance at low irradiance*

### 10.7.1 *Purpose*

To determine how the electrical performance of the module varies with load at 25 °C and an irradiance of 200 W·m<sup>-2</sup> (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 904-1 using natural sunlight or a class A simulator conforming to IEC 904-9.

### 10.7.2 *Procedure*

Determine the current-voltage characteristic of the module at 25 °C ± 2 °C and an irradiance of 200 W·m<sup>-2</sup> (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 904-1 using natural sunlight or a class A simulator conforming to IEC 904-9. The irradiance shall be reduced to the specified level by using neutral filters (such as a blackened screen or mesh cloth) or some other technique which does not affect the spectral irradiance distribution.

Make temperature and irradiance corrections when necessary.

## 10.8 *Outdoor exposure test*

### 10.8.1 *Purpose*

To make a preliminary assessment of the ability of the module to withstand exposure to outdoor conditions and to reveal any synergistic degradation effects which may not be detected by laboratory tests.

NOTE – Caution should be taken in making absolute judgements about module life on the basis of passing this test because of the shortness of the test and the environmental variability of the test conditions. This test should only be used as a guide or indicator of possible problems.

### 10.8.2 *Apparatus*

- a) A solar irradiation monitor, accurate to ± 10 %.
- b) Means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor.

### 10.8.3 *Procedure*

- a) Open-circuit the module and mount it outdoors, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor. Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.
- b) Subject the module to an irradiation totalling 60 kWh·m<sup>-2</sup>, as measured by the monitor, under conditions conforming to moderate open-air climates, as defined in IEC 721-2-1.

### 10.8.4 *Final measurements*

Repeat tests 10.1, 10.2 and 10.3.

### 10.8.5 *Requirements*

- No evidence of major visual defects, as defined in clause 7.
- The maximum output power at STC shall exceed the manufacturer's minimum power rating.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

## 10.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé

### 10.9.1 Objet

L'essai a pour but de déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets d'un échauffement localisé dus, par exemple, à la détérioration de l'encapsulation. Ce défaut peut être provoqué par la présence de cellules incompatibles ou craquelées, par des défauts d'interconnexion, par un masquage partiel ou par salissure.

### 10.9.2 Effet de l'échauffement localisé

L'échauffement localisé d'un module se produit lorsque son courant nominal excède le courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ) réduit d'une cellule masquée ou défectueuse ou d'un groupe de cellules qu'il contient. Quand de telles conditions apparaissent, le groupe de cellules ou la cellule affecté(e) se trouve polarisé(e) en inverse et dissipe de la puissance, pouvant ainsi créer un échauffement.

La figure 6 illustre l'effet d'un échauffement localisé sur un module constitué des cellules en série, parmi lesquelles la cellule Y est partiellement masquée. La puissance dissipée dans la cellule Y est égale au produit du courant circulant dans le module par la tension inverse créée aux bornes de Y. Pour chaque niveau d'éclairement, la puissance maximale est dissipée dans les conditions de court-circuit, quand la tension inverse aux bornes de Y est égale à la tension produite par les cellules ( $s - 1$ ) restantes du module. Cela est représenté à la figure 6 par le rectangle hachuré construit à l'intersection de la caractéristique en inverse I-V de la cellule Y avec l'image de la caractéristique en direct des cellules ( $s - 1$ ).

La caractéristique en inverse pouvant varier considérablement d'une cellule à une autre, il est nécessaire de classer les cellules par limitation en tension (type A) ou limitation en courant (type B), en tenant compte des conditions d'intersection entre la caractéristique en inverse et la zone limite d'essai décrite à la figure 7.

La figure 6 illustre également la condition de dissipation maximale dans une cellule de type A défectueuse ou masquée. Cela se produit quand sa caractéristique en inverse recoupe l'image de la caractéristique des cellules ( $s - 1$ ) à son point de puissance maximale ( $I_{mp}$ ).

Par contraste, la figure 8 montre que la dissipation maximale dans une cellule de type B se produit quand elle est complètement masquée. Mais il convient de noter que, dans ce cas, la puissance dissipée peut être seulement une fraction de la puissance totale du module.

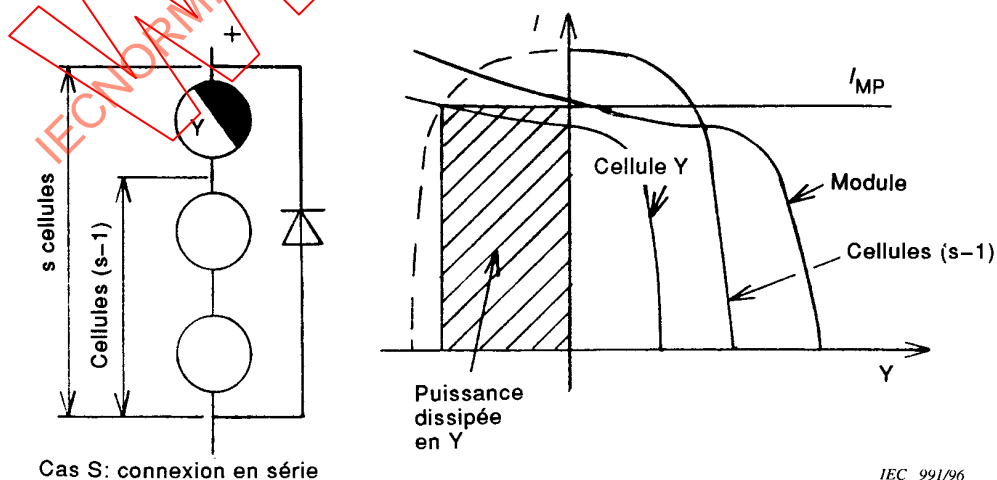


Figure 6 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type A

## 10.9 Hot-spot endurance test

### 10.9.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand hot-spot heating effects, for example deterioration of the encapsulation. This defect could be provoked by mismatched or cracked cells, interconnect failures, partial shadowing or soiling.

### 10.9.2 Hot-spot effect

Hot-spot heating occurs in a module when its operating current exceeds the reduced short-circuit current ( $I_{sc}$ ) of a shadowed or faulty cell or group of cells within it. When such a condition occurs, the affected cell or group of cells is forced into reverse bias and dissipates power, which can cause overheating.

Figure 6 illustrates the hot-spot effect in a module consisting of a series string of cells, one of which, cell Y, is partially shadowed. The amount of power dissipated in Y is equal to the product of the module current and the reverse voltage developed across Y. For any irradiance level, maximum power is dissipated in the short-circuit condition, when the reverse voltage across Y is equal to the voltage generated by the remaining ( $s - 1$ ) cells in the module. This is shown in figure 6 by the hatched rectangle constructed at the intersection of the reverse I-V characteristic of Y with the image of the forward I-V characteristic of the ( $s - 1$ ) cells.

Because the reverse characteristic can vary considerably from cell to cell, it is necessary to classify cells as voltage-limited (type A) or current-limited (type B), according to how the reverse characteristic intersects the test limit zone shown in figure 7.

Figure 6 also illustrates the condition of maximum dissipation in a faulty or shadowed type A cell. This occurs when the reverse characteristic intersects the image of the ( $s - 1$ ) characteristic at its maximum power point ( $I_{MP}$ ).

In contrast, figure 8 shows that the maximum dissipation in a type B cell occurs when it is fully shadowed. But it should be noted that, in this case, the dissipated power may be only a fraction of the total power available from the module.

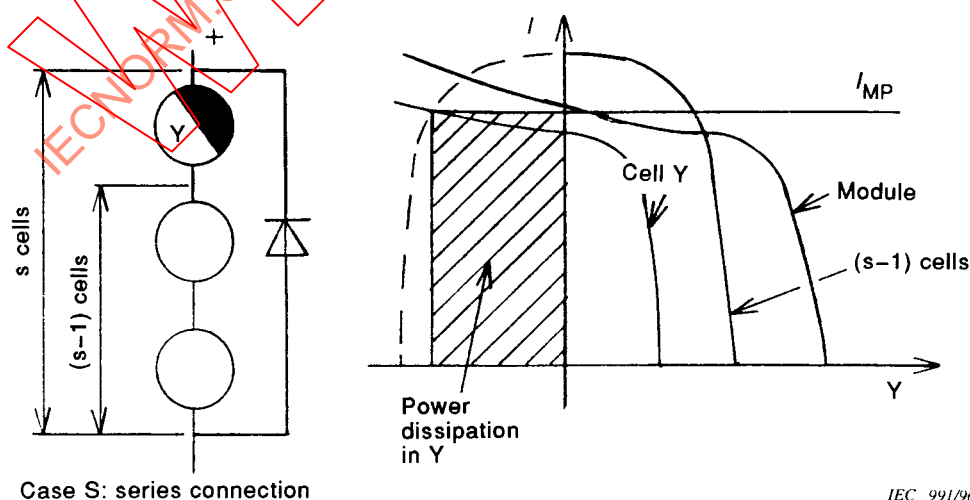


Figure 6 – Hot-spot effect in type A cell

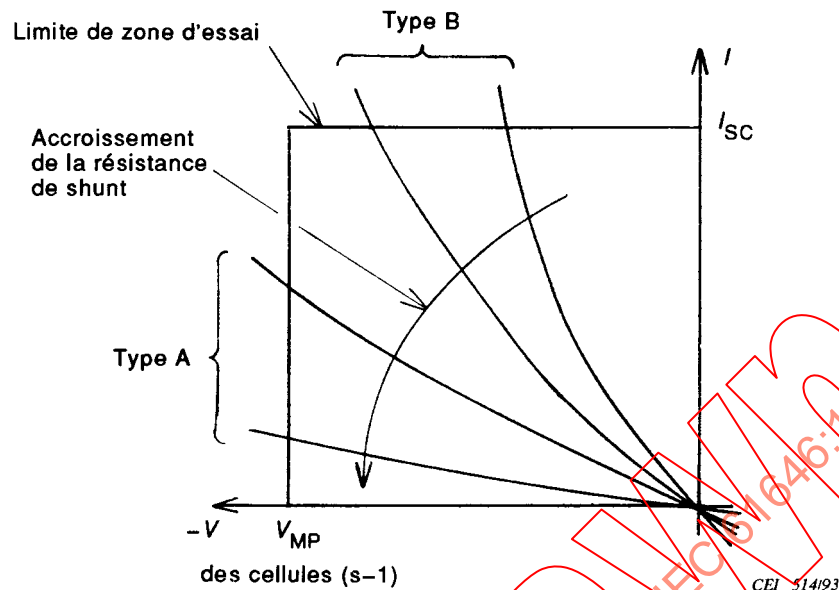


Figure 7 – Caractéristiques inverses

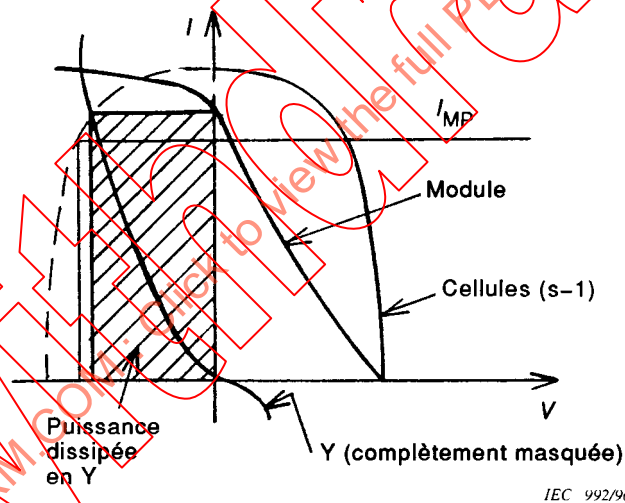


Figure 8 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B

### 10.9.3 Classification des interconnexions de cellules

Les cellules solaires d'un module photovoltaïque sont connectées de plusieurs manières différentes:

- cas S: connexion en série de  $s$  cellules dans une seule branche (figure 6);
- cas SP: connexion en série-parallèle; c'est une connexion en parallèle de  $p$  branches, chaque branche étant constituée par  $s$  cellules en série (figure 9);
- cas SPS: connexion en série-parallèle-série; c'est une connexion en série de  $b$  blocs, chaque bloc étant constitué d'une connexion en parallèle de  $p$  branches, chacune d'elles étant constituée de  $s$  cellules en série (figure 10).

La présence de diodes by-pass limite la tension inverse des cellules internes et définit ainsi la partie du circuit à essayer. Chaque configuration nécessite une procédure particulière d'essai de tenue à l'échauffement localisé. Le maximum de dissipation de puissance interne se produit quand le module est en court-circuit.

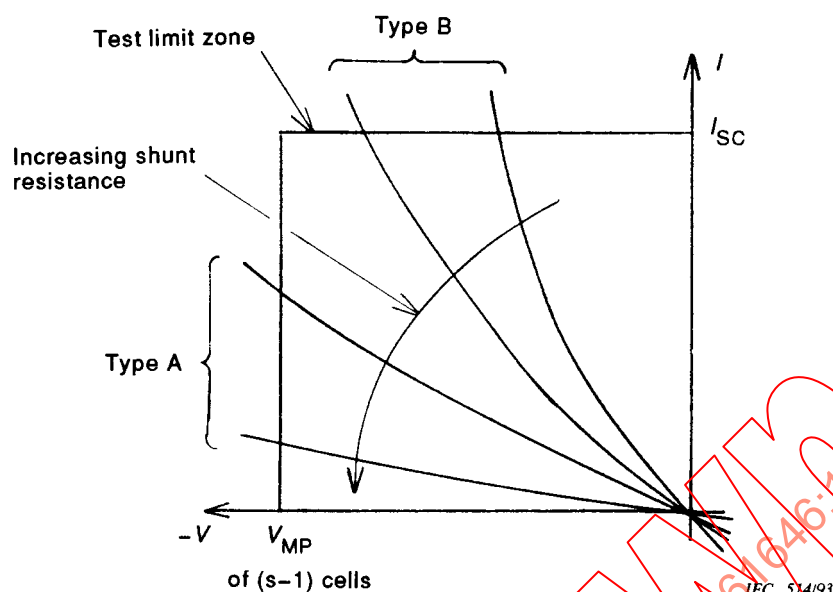


Figure 7 – Reverse characteristics

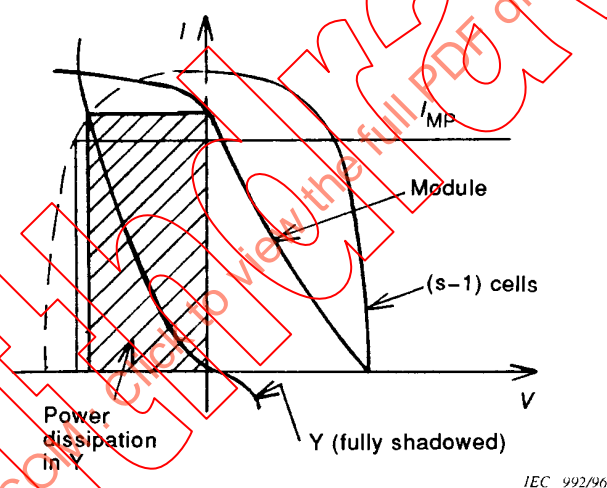


Figure 8 – Hot-spot effect in type B cell

### 10.9.3 Classification of cell interconnection

Solar cells in a PV module are connected in one of the following ways:

- case S: series connection of  $s$  cells in a single string (figure 6);
- case SP: series-parallel connection, i.e. a parallel connection of  $p$  strings, each with  $s$  cells in series (figure 9);
- case SPS: series-parallel-series connection, i.e. a series connection of  $b$  blocks, where each block consists of a parallel connection of  $p$  strings, each with  $s$  cells in series (figure 10).

By-pass diodes, if present, limit the reverse voltage of the enclosed cells and therefore define the part of the circuit to be tested. Each configuration requires a particular hot-spot testing procedure. The maximum internal power dissipation occurs with the module short-circuited.

#### 10.9.4 *Equipement*

- a) Source de rayonnement 1: ensoleillement naturel ou simulateur solaire à éclairage permanent de classe C (ou mieux) conforme aux exigences de la CEI 904-9 capable de produire un éclairage d'au moins  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  avec une non-uniformité inférieure ou égale à  $\pm 2 \%$  et une stabilité temporelle de  $\pm 5 \%$ .
- b) Source de rayonnement 2: ensoleillement naturel ou un simulateur solaire à éclairage permanent de classe C (ou mieux) conforme aux exigences de la CEI 904-9 produisant un éclairage de  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 10 \%$ .
- c) Un traceur de caractéristiques I-V des modules.
- d) Un système de masquage opaque par incrémentation de 5 % pour la phase de masquage de la cellule.
- e) Un capteur de température approprié, si nécessaire.

#### 10.9.5 *Procédure d'essai*

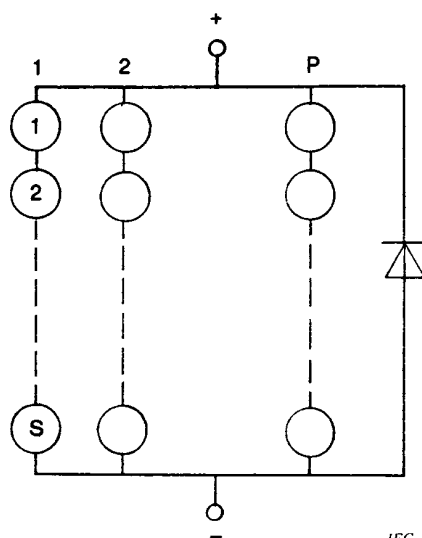
Tous les essais doivent être réalisés à la température ambiante de  $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  et avec un vent de vitesse inférieure à  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Tout montage de protection contre l'échauffement localisé recommandé par le fabricant doit être installé avant que le module ne soit essayé.

#### 10.9.4 Apparatus

- a) Radiant source 1: natural sunlight, or a class C (or better) steady-state solar simulator conforming to IEC 904-9 with an irradiance of not less than  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , a non-uniformity not more than  $\pm 2 \%$  and a temporal stability within  $\pm 5 \%$ .
- b) Radiant source 2: natural sunlight, or a class C (or better) steady-state solar simulator conforming to IEC 904-9 with an irradiance of  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 10 \%$ .
- c) Module I-V curve tracer.
- d) Set of opaque covers for test cell shadowing in 5 % increments.
- e) An appropriate temperature detector, if required.

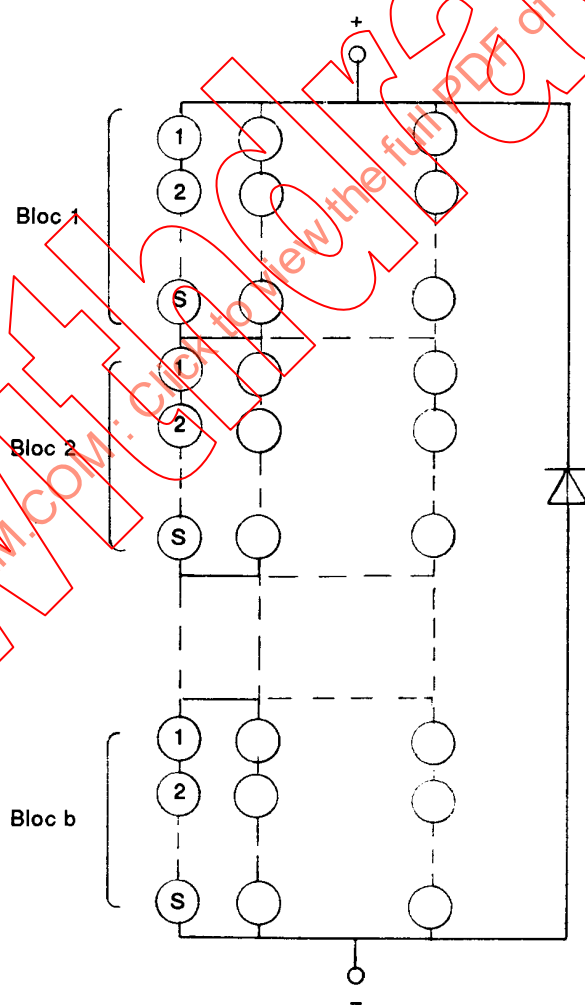
#### 10.9.5 Procedure

All tests shall be performed at an ambient temperature of  $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , with a wind speed less than  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.



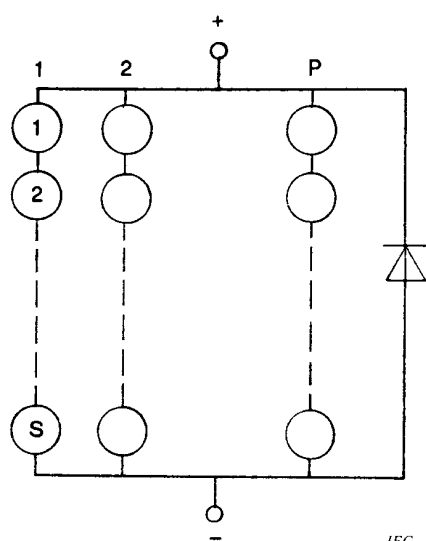
IEC 994/96

Figure 9 – Cas SP: connexion en série-parallèle



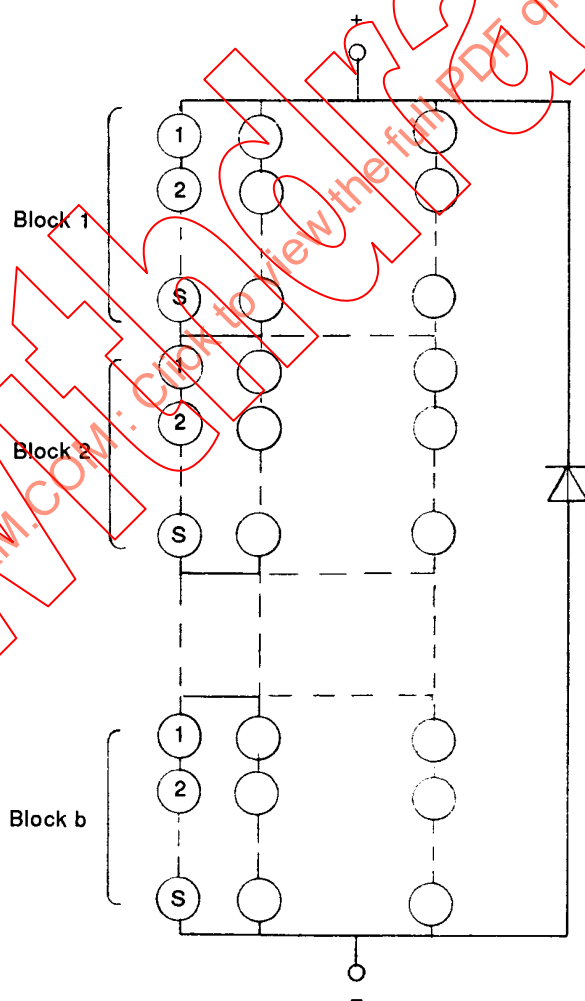
CEI 517/93

Figure 10 – Cas SPS: connexion en série-parallèle-série



IEC 993/96

Figure 9 – Case SP: series-parallel connection



IEC 517/93

Figure 10 – Case SPS: series-parallel-series connection

#### 10.9.5.1 Cas S

- a) Exposer le module non masqué à la source de rayonnement 1 sous un éclairage d'au moins  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tracer la caractéristique I-V et déterminer le courant correspondant à la puissance maximale,  $I_{MP}$ .
- b) Court-circuiter le module et sélectionner une cellule par l'une des méthodes suivantes:
  - 1) le module étant exposé à la source de rayonnement 1 sous un éclairage stable d'au moins  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , déterminer la cellule la plus chaude en utilisant un détecteur de température approprié;
  - 2) sous l'éclairage spécifié à l'étape a), masquer complètement chaque cellule successivement et sélectionner celle ou l'une de celles qui entraîne la plus grande décroissance du courant de court-circuit quand elle est masquée. Durant cette procédure, l'éclairage ne doit pas varier de plus de  $\pm 5 \%$ .
- c) Sous le même éclairage ( $\pm 3 \%$ ) utilisé pour l'étape a), masquer complètement la cellule sélectionnée et vérifier que le  $I_{SC}$  du module est inférieur à la valeur de  $I_{MP}$  déterminée à l'étape a). Si cette condition n'est pas réalisée, on ne peut pas remplir les conditions de dissipation maximale de puissance avec une seule cellule. Dans ce cas, procéder avec la cellule sélectionnée complètement masquée en omettant l'étape d).
- d) Diminuer graduellement la surface masquée de la cellule sélectionnée jusqu'à ce que la valeur de  $I_{SC}$  du module coïncide autant que possible avec la valeur de  $I_{MP}$ . Dans ces conditions, la puissance maximale est dissipée dans la cellule sélectionnée.
- e) Exposer le module à la source de rayonnement 2. Noter la valeur  $I_{SC}$  et garder le module dans ces conditions de dissipation maximale de puissance, réajuster le masquage si cela s'avère nécessaire pour maintenir  $I_{SC}$  à la valeur spécifiée.
- f) Après 1 h d'exposition, retirer le module du rayonnement de la source et vérifier que  $I_{SC}$  n'est pas supérieur de 10 % à  $I_{MP}$ .
- g) Attendre 30 min pour remettre le module sous un éclairage de  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .
- h) Les étapes e), f) et g) seront réexécutées cinq fois.

#### 10.9.5.2 Cas SP

- a) Exposer le module non masqué à la source de rayonnement 1 sous un éclairage d'au moins  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tracer la caractéristique I-V et déterminer  $I_{SC} (*)$ , le courant de court-circuit correspondant aux conditions de dissipation maximale de puissance par effet d'échauffement localisé, à partir de l'équation suivante, en s'assurant que chaque branche du module produit le même courant:

$$I_{SC} (*) = I_{SC} \cdot \frac{p-1}{p} + \frac{I_{MP}}{p}$$

où

$I_{SC}$  est le courant de court-circuit du module non masqué;

$I_{MP}$  est le courant correspondant à la puissance maximale du module non masqué;

$p$  est le nombre de branches en parallèle dans le module.

- b) Court-circuiter le module et sélectionner une cellule par l'une des méthodes suivantes:
  - 1) Le module étant exposé à la source de rayonnement 1 sous un éclairage stable d'au moins  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , déterminer la cellule la plus chaude en utilisant un détecteur de température approprié.
  - 2) Sous l'éclairage spécifié à l'étape a), masquer complètement chaque cellule successivement et sélectionner celle qui entraîne la plus grande décroissance du courant de court-circuit quand elle est masquée. Durant cette procédure, l'éclairage ne doit pas varier de plus de  $\pm 5 \%$ .

## 10.9.5.1 Case S

- a) Expose the unshadowed module to radiant source 1 at an irradiance of not less than  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Measure the I-V characteristic and determine the current at maximum power,  $I_{\text{MP}}$ .
- b) Short-circuit the module and select a cell by one of the following methods:
  - 1) with the module exposed to radiant source 1 at a stable irradiance of not less than  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  determine the hottest cell using an appropriate temperature detector;
  - 2) under the irradiance specified for step a), completely shadow each cell in turn and select the cell or one of the cells which gives the biggest decrease in short-circuit current when shadowed. During this process, the irradiance shall not change by more than  $\pm 5 \%$ .
- c) Under the same irradiance (within  $\pm 3 \%$ ) as used in step a), completely shadow the selected cell and check that the  $I_{\text{SC}}$  of the module is less than the  $I_{\text{MP}}$ , as determined in step a). If this condition does not occur, one cannot set the condition of maximum power dissipation within a single cell. In this case, proceed with the selected cell completely shadowed, omitting step d).
- d) Gradually decrease the shadowed area of the selected cell until the  $I_{\text{SC}}$  of the module coincides as closely as possible with  $I_{\text{MP}}$ . In this condition, the maximum power is dissipated within the selected cell.
- e) Expose the module to radiant source 2. Note the value of  $I_{\text{SC}}$  and keep the module in the condition of maximum power dissipation, re-adjusting the shadow, if necessary, to maintain the  $I_{\text{SC}}$  at the specified level.
- f) After 1 h shade the module from the light source and verify that  $I_{\text{SC}}$  is not more than 10 % of  $I_{\text{MP}}$ .
- g) After 30 min, restore the irradiance to  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- h) Repeat steps e), f) and g) a total of five times.

## 10.9.5.2 Case SP

- a) Expose the unshadowed module to radiant source 1 at an irradiance of not less than  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Measure the I-V characteristic and determine  $I_{\text{SC}} (*)$ , the short-circuit current corresponding to the condition of maximum hot-spot power dissipation, from the following equation, assuming that all strings generate the same current:

$$I_{\text{SC}} (*) = I_{\text{SC}} \cdot \frac{p-1}{p} + \frac{I_{\text{MP}}}{p}$$

where

$I_{\text{SC}}$  is the short-circuit current of the unshadowed module;

$I_{\text{MP}}$  is the current at maximum power of the unshadowed module;

$p$  is the number of parallel strings in the module.

- b) Short-circuit the module and select a cell by one of the following methods:
  - 1) With the module exposed to radiant source 1 at a stable irradiance of not less than  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  determine the hottest cell using an appropriate temperature detector.
  - 2) Under the irradiance specified in step a), completely shadow each cell in turn and find the cell which gives the biggest decrease in short-circuit current when shadowed. During this process, the irradiance shall not change by more than  $\pm 5 \%$ .

- c) Sous le même éclairement (à  $\pm 3\%$ ) utilisé pour l'étape a), masquer complètement la cellule sélectionnée et vérifier que le  $I_{SC}$  du module est inférieur à la valeur de  $I_{SC}^*$  déterminée à l'étape a). Si cette condition n'est pas réalisée, on ne peut pas remplir les conditions de dissipation maximale de puissance avec une seule cellule. Dans ce cas, procéder avec la cellule sélectionnée complètement masquée en omettant l'étape d).
- d) Diminuer graduellement la surface masquée de la cellule sélectionnée jusqu'à ce que la valeur de  $I_{SC}$  du module coïncide autant que possible avec la valeur de  $I_{SC}^*$ . Dans ces conditions, la puissance maximale est dissipée dans la cellule sélectionnée.
- e) Exposer le module à la source de rayonnement 2. Noter la valeur de  $I_{SC}$  et garder le module dans ces conditions de dissipation maximale de puissance, réajuster le masquage si cela s'avère nécessaire pour maintenir  $I_{SC}$  à la valeur spécifiée.
- f) Après 1 h d'exposition, retirer le module du rayonnement de la source et vérifier que  $I_{SC}$  n'est pas supérieur de 10 % à  $I_{MP}$ .
- g) Attendre 30 min pour remettre le module sous un éclairement de  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- h) Les étapes e), f) et g) seront réexécutées cinq fois.

#### 10.9.5.3 Cas SPS

- a) Court-circuiter le module non masqué, et l'exposer à la source de rayonnement 1 sous un éclairement stable d'au moins  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Choisir au hasard au moins 30 % des cellules du module, masquer totalement chaque cellule successivement et mesurer la température à laquelle le module se stabilise, en utilisant un équipement d'imagerie thermique ou tout autre moyen approprié.
- b) Masquer totalement la cellule la plus chaude détectée à l'étape a).
- c) Tout en continuant de surveiller sa température, diminuer progressivement la surface masquée et déterminer les conditions pour lesquelles la température maximale est obtenue.
- d) Exposer le module à la source de rayonnement 2 et le garder dans les conditions de masquage déterminées à l'étape c).
- e) Après 1 h, retirer le module du rayonnement de la source.
- f) Après 30 min, remettre le module sous un éclairement de  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- g) Répéter les étapes d), e) et f) cinq fois.

#### 10.9.6 Exigences

- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La résistance d'isolement doit remplir les mêmes exigences que pour les mesures initiales.
- La dégradation de la puissance maximale de sortie aux STC ne doit pas excéder 5 % de la valeur mesurée avant l'essai.

### 10.10 Essai UV

#### 10.10.1 Objet

L'essai a pour but de déterminer l'aptitude du module à supporter l'exposition aux radiations ultra-violettes (UV).

Un nouvel essai UV est décrit dans la future CEI 1345 (voir bibliographie).

Avant de mener l'essai, le module doit être soumis à l'exposition prolongée au rayonnement lumineux, si nécessaire.

- c) Under the same irradiance as in step a) (within  $\pm 3\%$ ), check that, with the selected cell fully shadowed, the  $I_{SC}$  of the module is less than  $I_{SC}^*$ , as determined in step a). If this condition does not occur, one cannot set the condition of maximum power dissipation within a single cell. In this case, proceed with the selected cell fully shadowed, omitting step d).
- d) Gradually decrease the shadowed area of the selected cell until the  $I_{SC}$  of the module coincides as closely as possible with  $I_{SC}^*$ . In this condition, the maximum power is dissipated within the selected cell.
- e) Expose the module to radiant source 2. Note the value of  $I_{SC}$  and keep the module in the condition of maximum power dissipation, re-adjusting the shadow, if necessary, to maintain the  $I_{SC}$  at the specified level.
- f) After 1 h, shade the module from the light source and verify that  $I_{SC}$  is not more than 10 % of  $I_{MP}$ .
- g) After 30 min, restore the irradiance to  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- h) Repeat steps e), f) and g) a total of five times.

#### 10.9.5.3 Case SPS

- a) Short-circuit the unshadowed module and expose it to radiant source 1 at a stable irradiance of not less than  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Take at random at least 30 % of the cells in the module, fully shadow each cell in turn and measure the temperature at which it stabilizes, using thermal imaging equipment or other appropriate means.
- b) Fully shadow the hottest cell found in step a).
- c) While continuing to monitor its temperature, gradually decrease the shadowed area and determine the condition in which maximum temperature is achieved.
- d) Expose the module to radiant source 2 and keep it in the shadowed condition established in step c).
- e) After 1 h, shade the module from the light source.
- f) After 30 min, restore the irradiance to  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- g) Repeat steps d), e) and f) a total of five times.

#### 10.9.6 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- The degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test.

### 10.10 UV test

#### 10.10.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand exposure to ultra-violet (UV) radiation.

A new UV test is described in future IEC 1345 (see bibliography).

Before conducting this test, the module shall, if necessary, be subjected to light-soaking.

### 10.10.2 Exigences

- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La puissance maximale de sortie aux STC doit excéder la puissance minimale définie par le constructeur.
- La résistance d'isolement doit remplir les mêmes exigences que pour les mesures initiales.

### 10.11 Essai de cycles thermiques

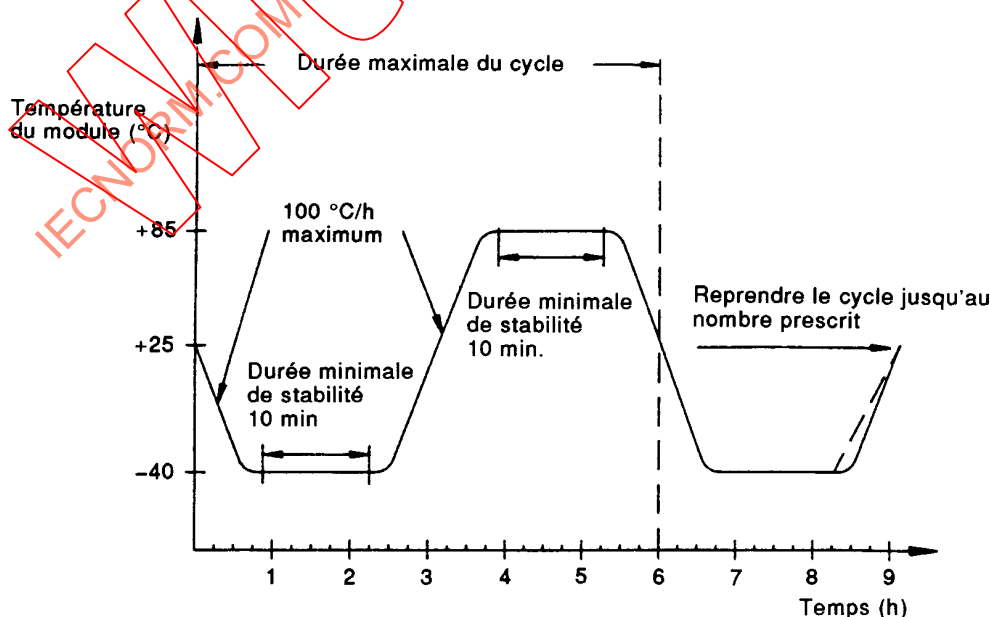
#### 10.11.1 Objet

Cet essai a pour objet de déterminer l'aptitude du module à supporter des contraintes de déséquilibre thermique, de fatigue ou autres, causées par des variations répétées de température.

Avant d'effectuer l'essai, le module doit être recuit, comme le montre la figure 1. L'expression «avant mesure I-V» signifie que la mesure doit être faite après recuit. On doit prendre soin de ne pas exposer le module au rayonnement lumineux avant la mesure I-V finale.

#### 10.11.2 Equipement

- a) Une chambre climatique avec un contrôle de température automatique, des moyens pour faire circuler l'air à l'intérieur et des moyens pour éviter la condensation sur le module pendant le test, capable de soumettre un ou plusieurs modules au cycle thermique représenté à la figure 11.
- b) Des moyens pour monter ou supporter le ou les modules dans la chambre, de façon à permettre une libre circulation de l'air environnant. Leur conduction thermique doit être faible, de telle sorte que, pour des raisons pratiques, le ou les modules soient isolés thermiquement.
- c) Des moyens pour mesurer et enregistrer la température du ou des modules avec une précision de  $\pm 1$  °C. Les capteurs de température doivent être fixés sur la face avant ou arrière du module près de son centre. Si plus d'un module est essayé simultanément, il suffira d'enregistrer la température d'un seul exemplaire représentatif.
- d) Des moyens pour vérifier, pendant tout l'essai, la continuité du circuit interne de chaque module.
- e) De l'instrumentation pour vérifier pour chaque module, l'intégrité de l'isolement entre l'une des sorties et le châssis ou la structure portante.



CEI 518/93

Figure 11 – Essai de cycle thermique

### 10.10.2 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in clause 7.
- The maximum output power at STC shall exceed the manufacturer's minimum power rating.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

### 10.11 Thermal cycling test

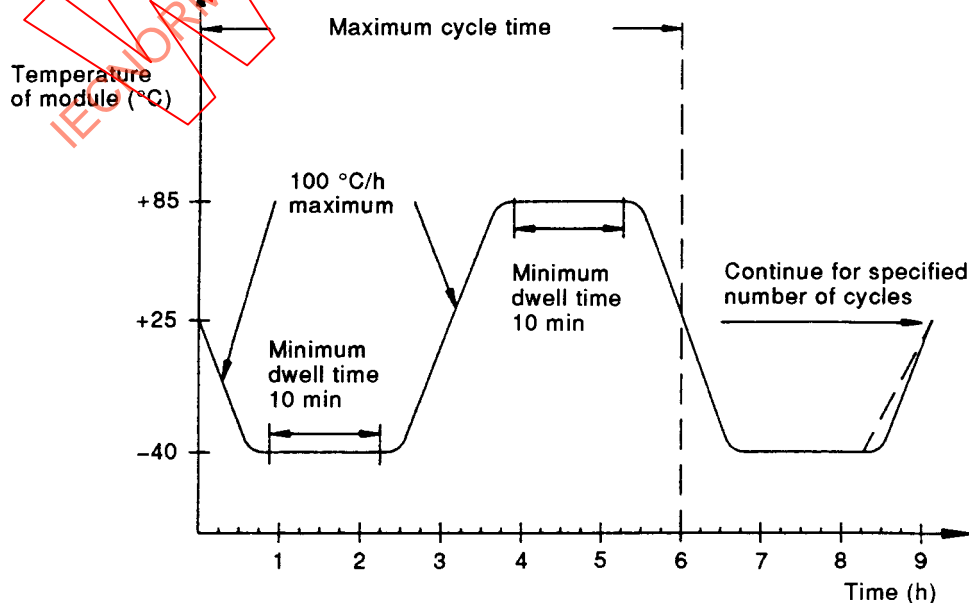
#### 10.11.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand thermal mismatch, fatigue and other stresses caused by repeated changes of temperature.

Before conducting the test, the module shall be annealed as shown in figure 1. The "before I-V measurement" is that measurement taken after annealing. Care shall be taken not to expose the module to light before the final I-V measurement.

#### 10.11.2 Apparatus

- a) A climatic chamber with automatic temperature control, means for circulating the air inside and means to avoid condensation on the module during the test, capable of subjecting one or more modules to the thermal cycle in figure 11.
- b) Means for mounting or supporting the module(s) in the chamber, so as to allow free circulation of the surrounding air. The thermal conduction of the mount or support shall be low, so that, for practical purposes, the module(s) are thermally isolated.
- c) Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of  $\pm 1^\circ\text{C}$ . The temperature sensors shall be attached to the front or back surface of the module near the middle. If more than one module is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one representative sample.
- d) Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.
- e) Instrumentation for monitoring in each module the integrity of the insulation between one of the terminals and the module frame or supporting structure.



IEC 518/93

Figure 11 – Thermal cycling test

### 10.11.3 Procédure d'essai

- a) Installer le ou les modules à température ambiante dans la chambre. Si le châssis est un mauvais conducteur électrique, monter le module sur un châssis métallique simulant une structure ouverte.
- b) Connecter l'équipement de contrôle de température à la ou aux sondes de température. Connecter l'instrumentation de contrôle de la continuité aux sorties du module. Connecter les moyens de contrôle de l'isolement entre une sortie et le châssis ou la structure portante.
- c) Fermer la chambre et, l'air circulant autour du ou des modules ayant une vitesse supérieure à  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , soumettre le ou les modules à un cyclage entre  $-40 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $+85 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  selon le cycle décrit à la figure 11. La vitesse de variation de la température entre les deux températures extrêmes ne doit pas dépasser  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$  et la température du module doit être maintenue stable à chaque température extrême pendant au moins 10 min. La durée du cycle ne doit pas excéder 6 h. Le nombre de cycles doit être celui du panneau approprié de la figure 1.
- d) Pendant tout l'essai, enregistrer la température et vérifier de façon continue le ou les modules pour détecter tout circuit ouvert ou défaut d'isolement qui pourrait se produire pendant l'exposition.

### 10.11.4 Mesures finales

Après un temps de reprise minimal de 1 h, répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

### 10.11.5 Exigences

- Pas de circuit ouvert intermittent ou de défaut d'isolement détecté pendant l'essai.
- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.
- La dégradation par rapport à la valeur initiale de la puissance maximale de sortie aux STC ne doit pas excéder 5 %.

## 10.12 Essai humidité-gel

### 10.12.1 Objet

Cet essai a pour but de déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets dus à la succession de conditions de température élevée et d'humidité suivies de séjour à température au-dessous de zéro. Ce n'est pas un essai de choc thermique.

Avant d'effectuer l'essai, le module doit être recuit et soumis à l'essai de cycles thermiques, comme le montre la figure 1. L'expression «avant mesure I-V» signifie que la mesure doit être faite après l'essai de cycles thermiques. On doit prendre soin de ne pas exposer le module au rayonnement lumineux avant la mesure I-V finale.

Il existe deux méthodes alternatives: la méthode à une chambre et la méthode à deux chambres.

### 10.12.2 Méthode à une chambre

#### 10.12.2.1 Equipement

- a) Une chambre climatique avec contrôle automatique de la température et de l'humidité, capable de soumettre un ou plusieurs modules au cycle humidité-gel spécifié dans la figure 12. Pour les températures au-dessous de zéro, le point de rosée de l'air à l'intérieur de la chambre doit être égal à la température de la chambre.
- b) Des moyens pour mesurer et enregistrer la température d'un module avec une précision de  $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Si plusieurs modules sont essayés simultanément, il suffit de contrôler la température d'un module représentatif du lot.)

### 10.11.3 Procedure

- a) Install the module(s) at room temperature in the chamber. If the frame is a poor electrical conductor, mount the module on a metal frame simulating an open support structure.
- b) Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect the continuity instrumentation across the module terminals. Connect the insulation monitor between one terminal and the frame or supporting structure.
- c) Close the chamber and, with the air around the module(s) circulating at a velocity of not less than  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , subject the module(s) to cycling between module temperatures of  $-40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  and  $+85^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , in accordance with the profile in figure 11. The rate of change of temperature between the low and high extremes shall not exceed  $100^\circ\text{C}/\text{h}$  and the module temperature shall remain stable at each extreme for a period of at least 10 min. The cycle time shall not exceed 6 h. The number of cycles shall be as shown in the relevant blocks in figure 1.
- d) Throughout the test, record the module temperature and monitor the module(s) to detect any open-circuit or ground faults that may occur during the exposure.

### 10.11.4 Final measurements

After a minimum recovery time of 1 h, repeat tests 10.1, 10.2 and 10.3.

### 10.11.5 Requirements

- No intermittent open-circuit or ground faults detected during the test.
- No evidence of major visual defects, as defined in clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- The degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test.

## 10.12 Humidity-freeze test

### 10.12.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand the effects of high temperature and humidity followed by sub-zero temperatures. This is *not* a thermal shock test.

Before conducting the test, the module shall be annealed and subjected to the thermal cycle test as shown in figure 1. The "before I-V measurement" is that measurement taken after the thermal cycle test. Care shall be taken not to expose the module to light before the final I-V measurement.

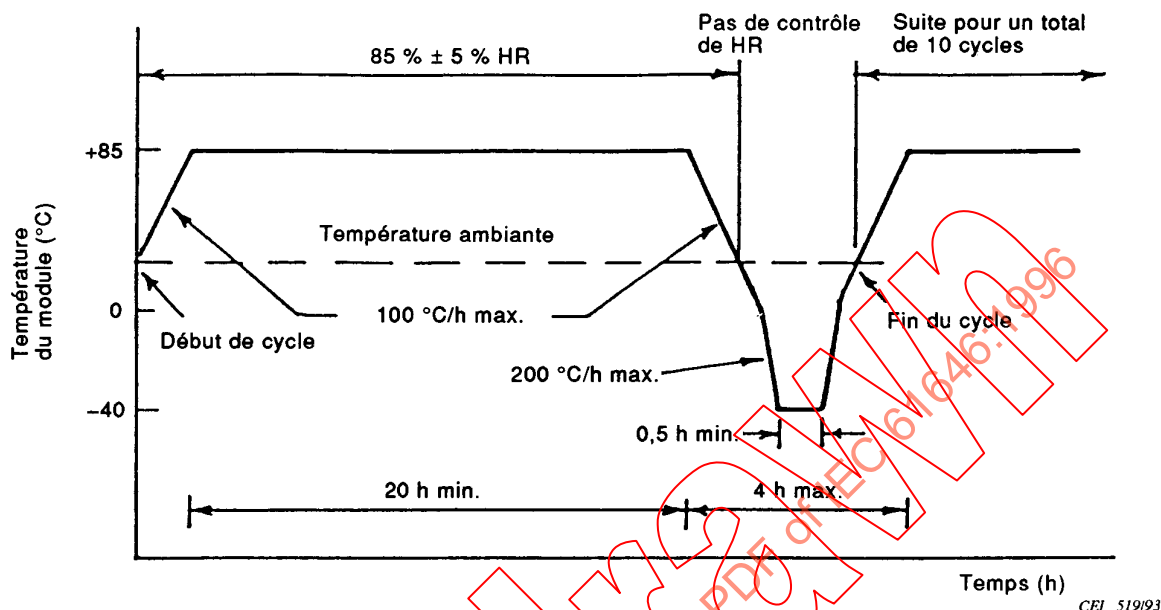
There are two alternative methods: the single-chamber method and the two-chamber method.

### 10.12.2 Single-chamber method

#### 10.12.2.1 Apparatus

- a) A climatic chamber with automatic temperature and humidity control, capable of subjecting one or more modules to the humidity-freeze cycle specified in figure 12. At sub-zero temperatures, the dew-point of the chamber air shall be the chamber temperature.
- b) Means for measuring and recording the module temperature to an accuracy of  $\pm 1^\circ\text{C}$ . (It is sufficient to monitor the temperature of one representative sample, if more than one module are tested simultaneously.)

- c) Des moyens pour contrôler, pendant toute la durée de l'essai, la continuité du circuit électrique interne de chaque module.
- d) De l'instrumentation pour vérifier pour chaque module, l'intégrité de l'isolement entre l'une des sorties et le châssis ou la structure portante.



#### 10.12.2.2 Procédure d'essai

- a) Placer une sonde de température adéquate sur la face avant ou arrière du ou des modules, près du centre.
- b) Installer le ou les modules à température ambiante dans la chambre climatique avec un angle d'au moins 5° par rapport à l'horizontale. Si le châssis est un faible conducteur électrique, monter le module sur un châssis métallique simulant une structure ouverte.
- c) Connecter l'équipement de contrôle de température à la ou aux sondes de température. Connecter l'instrumentation de contrôle de la continuité électrique aux sorties du module. Connecter les moyens de contrôle de l'isolement entre une sortie et le châssis ou la structure portante.
- d) Après avoir fermé la chambre, soumettre le ou les modules à 10 cycles complets, conformément au diagramme de la figure 12. Les températures minimale et maximale doivent être à  $\pm 2$  °C des valeurs spécifiées et l'humidité relative doit être maintenue à  $\pm 5$  % de la valeur spécifiée pour toute température supérieure à la température de l'air ambiant.
- e) Pendant toute la durée de l'essai, enregistrer la température du module et contrôler le ou les modules afin de détecter tout défaut d'isolement ou circuit ouvert qui pourrait se produire pendant l'exposition.

#### 10.12.3 Méthode à deux chambres

##### 10.12.3.1 Equipement

- a) Une chambre climatique (chambre A) avec contrôle automatique de la température et de l'humidité, capable de soumettre un ou plusieurs modules à des températures comprises entre la température de l'air ambiant et +85 °C avec un taux d'humidité relative pouvant atteindre 85 %.
- b) Une seconde chambre climatique (chambre B) avec contrôle automatique de la température, capable de refroidir le ou les modules à partir de la température de l'air ambiant jusqu'à -40 °C. Le point de rosée de cette chambre doit être celui spécifié pour la méthode à une chambre.
- c) De l'instrumentation pour contrôler la température, la continuité électrique et l'isolement d'un module, identique à celle requise pour la méthode à une chambre.

c) Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.

d) Instrumentation for monitoring in each module the integrity of the insulation between one of the terminals and the module frame or supporting structure.

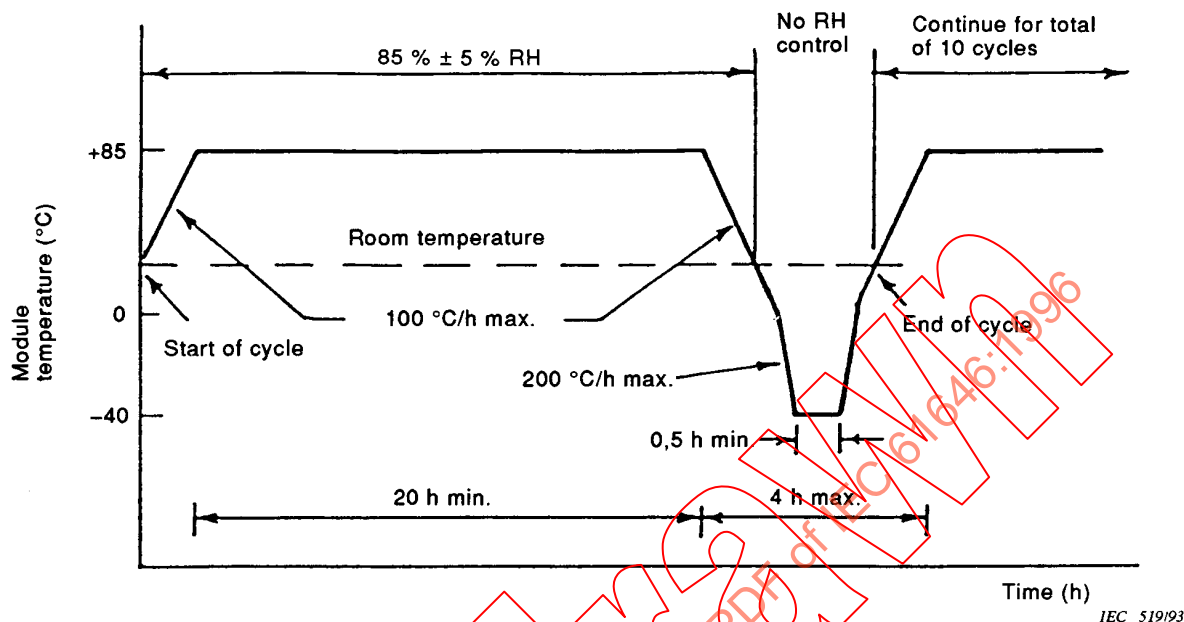


Figure 12 - Humidity-freeze cycle

#### 10.12.2.2 Procedure

- Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle.
- Install the module(s) at room temperature in the climatic chamber at an angle of not less than 5° to the horizontal. If the frame is a poor electrical conductor, mount the module on a metal frame simulating an open-support structure.
- Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect the continuity instrumentation across the module terminals. Connect the insulation monitor between one terminal and the frame or supporting structure.
- After closing the chamber, subject the module(s) to 10 complete cycles in accordance with figure 12. The maximum and minimum temperatures shall be within  $\pm 2$  °C of the specified levels and the relative humidity shall be maintained within  $\pm 5$  % of the specified value at all temperatures above room temperature.
- Throughout the test, record the module temperature and monitor the module(s) to detect any open-circuit or ground faults that may occur during the exposure.

#### 10.12.3 Two-chamber method

##### 10.12.3.1 Apparatus

- A climatic chamber (chamber A), with automatic temperature and humidity control, capable of heating one or more modules from room temperature to +85 °C at relative humidities up to 85 %.
- A second climatic chamber (chamber B), with automatic temperature control, capable of cooling the module(s) from room temperature to -40 °C. The dew-point of this chamber shall be as specified for the single-chamber method.
- Module temperature, continuity and insulation monitoring instrumentation, as required for the single-chamber method.

### 10.12.3.2 Procédure d'essai

- a) Placer une sonde de température adéquate sur la face avant ou arrière du ou des modules, près du centre.
- b) S'assurer que l'air à l'intérieur des chambres A et B est à température ambiante et à un taux d'humidité relative de  $85 \% \pm 5 \%$ .
- c) Installer le ou les modules à la température ambiante dans la chambre A avec un angle d'au moins  $5^\circ$  par rapport à l'horizontale. Si le châssis est un faible conducteur électrique, monter le module sur un châssis métallique simulant une structure ouverte.
- d) Connecter l'équipement de contrôle de température à la ou aux sondes de température. Connecter l'instrumentation de contrôle de la continuité électrique aux sorties du module. Connecter les moyens de contrôle de l'isolement entre une sortie et le châssis ou la structure portante.
- e) Après avoir fermé la chambre, soumettre le ou les modules à la première partie du diagramme de la figure 12, en commençant et en finissant à la température ambiante. La température maximale du module doit être à  $\pm 2^\circ\text{C}$  de la valeur spécifiée et le taux d'humidité relative doit être maintenu à  $85 \% \pm 5 \%$  pendant toute la durée de cette partie du cycle.
- f) Le ou les modules étant à température ambiante, les transférer aussi rapidement que possible dans la chambre B, les monter comme précédemment avec un angle d'au moins  $5^\circ$  par rapport à l'horizontale et les reconnecter à l'instrumentation de contrôle de la température, de la continuité électrique et de l'isolement.
- g) Après avoir fermé la chambre, soumettre le ou les modules à la seconde partie du diagramme de la figure 12, en commençant et en finissant à la température ambiante. La température minimale du module doit être à  $\pm 2^\circ\text{C}$  de la valeur spécifiée.
- h) Répéter les étapes b) à g) incluse afin d'effectuer 10 cycles au total. Pendant toute la durée de l'essai, enregistrer la température du module et contrôler chaque module afin de détecter tout défaut d'isolement ou circuit ouvert qui pourrait se produire pendant l'exposition.

### 10.12.4 Mesures finales

Après une période de reprise comprise entre 2 h et 4 h, répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

### 10.12.5 Exigences

- Pas de circuit ouvert intermittent ou de défaut d'isolement détecté pendant l'essai.
- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.
- La dégradation, par rapport à la valeur initiale, de la puissance maximale de sortie aux STC ne doit pas excéder 5 %.

## 10.13 Essai continu de chaleur humide

### 10.13.1 Objet

Cet essai a pour but de déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets de la pénétration de l'humidité à long terme.

### 10.12.3.2 Procedure

- a) Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle.
- b) Ensure that the air inside chambers A and B is at room temperature and a relative humidity of  $85 \% \pm 5 \%$ .
- c) Install the module(s) at room temperature in chamber A at an angle of not less than  $5^\circ$  to the horizontal. If the frame is a poor electrical conductor, mount the module on a metal frame simulating an open-support structure.
- d) Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect the continuity monitoring instrumentation across the module terminals. Connect the insulation monitor between one terminal and the frame or supporting structure.
- e) After closing the chamber, subject the module(s) to the first part of the diagram in figure 12, starting and finishing at room temperature. The maximum temperature shall be within  $\pm 2^\circ \text{C}$  of the specified level and the relative humidity shall be maintained at  $85 \% \pm 5 \%$  throughout this part of the cycle.
- f) With the module(s) at room temperature, transfer it (them) as quickly as possible to chamber B, mounting it (them), as before, at an angle of not less than  $5^\circ$  to the horizontal and re-connecting it (them) to the temperature, continuity and insulation monitoring instrumentation.
- g) After closing the chamber, subject the module(s) to the second part of the diagram in figure 12, starting and finishing at room temperature. The minimum temperature shall be within  $\pm 2^\circ \text{C}$  of the specified level.
- h) Repeat steps b) to g) inclusive for a total of 10 complete cycles. Throughout the test, record the module temperature and monitor the module(s) to detect any open-circuit or ground faults that may occur during the exposure.

### 10.12.4 Final measurements

After a recovery time between 2 h and 4 h, repeat tests 10.1, 10.2 and 10.3.

### 10.12.5 Requirements

- No intermittent open-circuit or ground faults detected during the test.
- No evidence of major visual defects, as defined in clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- The degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test.

## 10.13 Damp heat test

### 10.13.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand the effects of long-term penetration of humidity.

### 10.13.2 *Procédure d'essai*

L'essai doit être mené conformément à la CEI 68-2-3 en prenant les dispositions suivantes:

#### a) *préconditionnement*

Avant d'effectuer l'essai, le module doit être recuit. L'expression «avant mesure I-V» signifie que la mesure doit être faite après recuit. On doit prendre soin de ne pas exposer le module au rayonnement lumineux avant la mesure I-V finale.

Le ou les modules, étant à la température ambiante, doivent être introduits dans la chambre d'essai.

#### b) *sévérités*

Les sévérités suivantes sont appliquées:

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| température de l'essai: | 85 °C ± 2 °C |
| humidité relative:      | 85 % ± 5 %   |
| durée de l'essai:       | 1000 h       |

#### c) *reprise*

Le ou les modules doivent être soumis à une reprise d'une durée comprise entre 2 h et 4 h.

### 10.13.3 *Mesures finales*

A la fin de la reprise, répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

### 10.13.4 *Exigences*

- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.
- La dégradation, par rapport à la valeur initiale, de la puissance maximale de sortie aux STC ne doit pas excéder 5 %.

## 10.14 *Essai de robustesse des sorties*

### 10.14.1 *Objet*

L'objet de cet essai est de déterminer si les sorties et la fixation des sorties au corps du module supportent des contraintes telles que celles qui risquent d'être appliquées au cours des opérations d'assemblage ou de manipulation des modules.

### 10.14.2 *Types de sorties*

Trois types de sorties de module sont considérés:

- type A: fil ou conducteur isolant;
- type B: cosses, goujons filetés, vis, etc.;
- type C: connecteur.

### 10.14.3 *Procédure d'essai*

Préconditionnement: 1 h dans les conditions atmosphériques normalisées pour les mesures et l'essai.

### 10.13.2 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC 68-2-3 with the following provisions:

#### a) preconditioning

Before conducting the test, the module shall be annealed. The "before I-V measurement " is that measurement taken after annealing. Care shall be taken not to expose the module to light before the final I-V measurement.

The module(s), being at room temperature, shall be introduced into the chamber.

#### b) severities

The following severities are applied:

test temperature:  $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

relative humidity:  $85\text{ \%} \pm 5\text{ \%}$

test duration: 1000 h

#### c) recovery

The module(s) shall be submitted to a recovery time between 2 h and 4 h.

### 10.13.3 Final measurements

At the end of the recovery time, repeat tests 10.1, 10.2 and 10.3.

### 10.13.4 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- The degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test.

## 10.14 Robustness of terminations test

### 10.14.1 Purpose

To determine that the terminations and the attachment of the terminations to the body of the module will withstand such stresses as are likely to be applied during normal assembly or handling operations.

### 10.14.2 Types of terminations

Three types of module terminations are considered:

- type A: wire or flying lead;
- type B: tags, threaded studs, screws, etc.;
- type C: connector.

### 10.14.3 Procedure

Preconditioning: 1 h at standard atmospheric conditions for measurement and test.

#### 10.14.3.1 *Sorties de type A*

Essai de traction: selon la CEI 68-2-21, essai Ua, en prenant les dispositions suivantes:

- toutes les sorties doivent être essayées;
- la force de traction ne doit jamais dépasser le poids du module.

Essai de pliage: selon la CEI 68-2-21, essai Ub, en prenant les dispositions suivantes:

- toutes les sorties doivent être essayées;
- méthode 1 – 10 cycles (un cycle consiste en un pliage dans chacune des directions opposées).

#### 10.14.3.2 *Sorties de type B*

Essais de traction et de pliage:

- a) pour les modules dont les sorties sont à nu, chaque sortie doit être essayée comme celles de type A;
- b) si les sorties sont à l'intérieur d'une boîte de protection, on doit appliquer la procédure suivante:

un câble de dimension et de type recommandés par le fabricant du module, coupé à la longueur appropriée, doit être connecté aux sorties à l'intérieur de la boîte, en se conformant aux recommandations du fabricant du module. Le câble doit passer dans le trou du presse-étoupe; on prendra soin d'utiliser tout dispositif fourni pour le serrage du câble. Le couvercle de la boîte doit être remis de façon sûre. Le module doit alors être essayé comme celui comportant des sorties de type A.

Essai de couple: selon la CEI 68-2-21, essai Ud, en prenant les dispositions suivantes:

- toutes les sorties doivent être essayées;
- sévérité 1.

Il convient que les écrous ou les vis puissent être desserrés par la suite à moins qu'ils n'aient été spécialement conçus pour une fixation permanente.

#### 10.14.3.3 *Sorties de type C*

Un câble de dimension et de type recommandés par le fabricant de modules, coupé à la longueur appropriée, doit être relié aux sorties du connecteur; les essais qui doivent être réalisés sont ceux applicables aux sorties de type A.

#### 10.14.4 *Mesures finales*

Répéter les essais 10.1 et 10.2.

#### 10.14.5 *Exigences*

- Pas de trace d'endommagement mécanique.
- La dégradation, par rapport à la valeur initiale, de la puissance maximale de sortie aux STC ne doit pas excéder 5 %.

### 10.15 *Essai de vrillage*

#### 10.15.1 *Objet*

Cet essai a pour but de détecter des défauts qui pourraient apparaître sur un module lorsqu'il est monté sur une structure portante imparfaite.

#### 10.14.3.1 *Type A terminations*

Tensile test: as described in IEC 68-2-21, test Ua, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- tensile force shall never exceed the module weight.

Bending test: as described in IEC 68-2-21, test Ub, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- method 1 – 10 cycles (one cycle is one bend in each opposite direction).

#### 10.14.3.2 *Type B terminations*

Tensile and bending tests:

a) for modules with exposed terminals, each termination shall be tested as for type A terminations;

b) if the terminations are enclosed in a protective box, the following procedure shall be applied:

a cable of the size and type recommended by the module manufacturer, cut to a suitable length, shall be connected to the terminations inside the box using the manufacturer's recommended procedures. The cable shall be taken through the hole of the cable gland, taking care to utilize any cable clamp arrangement provided. The lid of the box shall be securely replaced. The module shall then be tested as for type A terminations.

Torque test: as described in IEC 68-2-21, test Ud, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- severity 1.

The nuts or screws should be capable of being loosened afterwards unless they are specifically designed for permanent attachment.

#### 10.14.3.3 *Type C terminations*

A cable of the size and type recommended by the module manufacturer, cut to a suitable length, shall be connected to the output end of the connector, and the tests for type A terminations shall be carried out.

#### 10.14.4 *Final measurements*

Repeat tests 10.1 and 10.2.

#### 10.14.5 *Requirements*

- No evidence of mechanical damage.
- The degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test.

#### 10.15 *Twist test*

##### 10.15.1 *Purpose*

To detect defects which might be caused to the module when mounted on an imperfect structure.

### 10.15.2 Procédure d'essai

- a) Equiper le module de manière telle que la continuité électrique du circuit interne et la résistance d'isolement soient continuellement vérifiées durant l'essai. La résistance d'isolement doit être mesurée comme décrit pour l'essai 10.3 à l'exception du fait qu'une seule sortie du module doit être connectée à l'équipement de mesure.
- b) Maintenir trois coins du module dans le même plan.
- c) Déplacer le quatrième coin de ce plan d'une distance  $h$ :

$$h = 0,021 \times \sqrt{L^2 + W^2}$$

où

$h$  est le déplacement mesuré perpendiculairement à la diagonale du module (correspondant à un angle de déformation de  $1,2^\circ$ );

$L$  est la longueur du module;

$W$  est la largeur du module.

Le module ne doit pas être en fonctionnement durant l'essai.

### 10.15.3 Mesures finales

Répéter les essais 10.1 et 10.2.

### 10.15.4 Exigences

- Pas de circuit ouvert intermittent ou de défaut d'isolement détecté pendant l'essai.
- Pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme ceux définis à l'article 7.
- La dégradation, par rapport à la valeur initiale, de la puissance maximale de sortie aux STC ne doit pas excéder 5 %.

## 10.16 Essai de charge mécanique

### 10.16.1 Objet

L'essai a pour objet de déterminer l'aptitude d'un module à supporter des contraintes dues au vent ou à des charges statiques de neige ou de glace.

### 10.16.2 Procédure d'essai

- a) Equiper le module de telle manière que la continuité électrique du circuit interne soit continuellement vérifiée durant l'essai.
- b) Monter le module sur une structure rigide, conformément à la méthode prescrite par le constructeur (si différentes solutions existent, utiliser la moins bonne solution, soit celle pour laquelle la distance entre les points de fixation est la plus grande).
- c) Appliquer progressivement sur la face avant du module une charge correspondant à 2400 Pa, répartie uniformément. (Cette charge peut être obtenue pneumatiquement ou à l'aide d'une poche d'eau couvrant la surface entière. Dans le dernier cas, le module doit être monté horizontalement.) Maintenir cette charge pendant 1 h.
- d) Sans retirer le module de la structure rigide, appliquer la même procédure sur la face arrière du module.
- e) Répéter les étapes c) et d).

2400 Pa correspondent à la pression d'un vent de  $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (approximativement  $\pm 800 \text{ Pa}$ ) avec un coefficient de sécurité 3 pour les vents violents. Si le module à qualifier doit supporter de lourdes accumulations de neige ou de glace, la charge de 2400 Pa appliquée sur la surface du module pendant l'essai doit être augmentée à 5400 Pa.