

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1215**

Première édition
First edition
1993-04

**Modules photovoltaïques (PV) au silicium
cristallin pour application terrestre –
Qualification de la conception et homologation**

**Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV)
modules –
Design qualification and type approval**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1215: 1993

Numéros des publications

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

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1215**

Première édition
First edition
1993-04

**Modules photovoltaïques (PV) au silicium
cristallin pour application terrestre –
Qualification de la conception et homologation**

**Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV)
modules –
Design qualification and type approval**

© CEI 1993 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 pro-
cédé, 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 Varembé Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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	10
6 Conditions d'acceptation	12
7 Défauts visuels majeurs	12
8 Rapport d'essai	12
9 Modifications	12
10 Procédures d'essai	18
10.1 Examen visuel	18
10.2 Performance à STC	18
10.3 Essai d'isolement	20
10.4 Mesure des coefficients de température	20
10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)	22
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	64
10.14 Essai de robustesse des sorties	64
10.15 Essai de vrillage	68
10.16 Essai de charge mécanique	68
10.17 Essai à la grêle	70
Tableaux:	
1 – Résumé des niveaux d'essai	16
2 – Masses des billes de glace et vitesses d'essai	72
3 – Localisation des impacts	74

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope and object	9
2 Normative references	9
3 Sampling	11
4 Marking	11
5 Testing	11
6 Pass criteria	13
7 Major visual defects	13
8 Report	13
9 Modifications	13
10 Test procedures	19
10.1 Visual inspection	19
10.2 Performance at STC	19
10.3 Insulation test	21
10.4 Measurement of temperature coefficients	21
10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT)	23
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	65
10.14 Robustness of terminations test	65
10.15 Twist test	69
10.16 Mechanical load test	69
10.17 Hail test	71
Tables:	
1 – Summary of test levels	17
2 – Ice-ball masses and test velocities	73
3 – Impact locations	75

Figures:

1 – Séquence d'essais de qualification	14
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	46
7 – Caractéristiques inverses	46
8 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B	48
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	76

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61215:1993

Figures:

1 – Qualification test sequence	15
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	47
7 – Reverse characteristics	47
8 – Hot-spot effect in type B cell	49
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 illustrated	77

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) AU SILICIUM CRISTALLIN 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.

La Norme internationale CEI 1215 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 des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapports de vote	DIS	Rapports de vote
82(BC)16	82(BC)28	82(BC)31	82(BC)50
82(BC)23	82(BC)40	82(BC)32	82(BC)51
82(BC)24	82(BC)41	82(BC)35	82(BC)60
82(BC)26	82(BC)43	82(BC)36	82(BC)61
82(BC)27	82(BC)44	82(BC)37	82(BC)62
		82(BC)45	82(BC)63
		82(BC)46	82(BC)64
		82(BC)47	82(BC)65
		82(BC)48	82(BC)66
		82(BC)53	82(BC)69
		82(BC)56	82(BC)71

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CRYSTALLINE SILICON 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 cooperation 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, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use 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.

International Standard IEC 1215 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

Six Months' Rule	Reports on Voting	DIS	Reports on Voting
82(CO)16	82(CO)28	82(CO)31	82(CO)50
82(CO)23	82(CO)40	82(CO)32	82(CO)51
82(CO)24	82(CO)41	82(CO)35	82(CO)60
82(CO)26	82(CO)43	82(CO)36	82(CO)61
82(CO)27	82(CO)44	82(CO)37	82(CO)62
		82(CO)45	82(CO)63
		82(CO)46	82(CO)64
		82(CO)47	82(CO)65
		82(CO)48	82(CO)66
		82(CO)53	82(CO)69
		82(CO)56	82(CO)71

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

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) AU SILICIUM CRISTALLIN POUR APPLICATION TERRESTRE – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale donne les exigences de la CEI sur la qualification de la conception et l'homologation de modules photovoltaïques pour application terrestre et pour une utilisation de longue durée dans les climats généraux d'air libre, définis dans la CEI 721-2-1. Elle s'applique uniquement aux modules au silicium cristallin. Les normes pour les modules à couche mince et pour d'autres conditions d'environnement, telles que les conditions marines ou à l'équateur, sont à l'étude.

Elle ne s'applique pas aux modules utilisés avec concentrateurs.

L'objet de cette 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 lesquels ils fonctionneront.

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 – Première partie: Généralités et guide*

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

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

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

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

CEI 891: 1987, *Procédures pour la correction en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*
Amendement n° 1 (1992)

CEI 904-1: 1987, *Dispositifs photovoltaïques – Première partie: Mesures des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

CRYSTALLINE SILICON TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

1 Scope and object

This International Standard lays down IEC requirements for the design qualification and type approval of terrestrial photovoltaic modules suitable for long-term operation in general open-air climates, as defined in IEC 721-2-1. It applies only to crystalline silicon types. Standards for thin-film modules and other environments, such as marine or equator conditions, are under consideration.

This standard does not apply to modules used with concentrators.

The object of this test sequence is to determine the electrical and thermal characteristics of the module and to show, as far as is 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 lifetime expectancy of modules so qualified will depend on their design, their environment and the conditions under which they are operated.

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*

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

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

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*

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

Amendment No. 1 (1992)

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

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

QC 001002: 1986, *Règles de procédure du Système CEI d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ)*
Amendement n° 1 (1992)

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 norme 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 à l'inspection normale 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 des 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 maximum de système pour lequel le module est adéquat.

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

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 cette norme. Les sévérités et la procédure de l'essai en question incluant les mesures initiales et finales si nécessaires, sont détaillées à l'article 10.

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 ces cas, les mesures initiales sont omises de l'essai.

En effectuant les essais, l'opérateur doit observer scrupuleusement les instructions de manipulation, de montage et de raccordement préconisées par le fabricant. L'essai du paragraphe 10.4 peut être omis si les coefficients de température α et β sont déjà connus.

Les conditions des essais sont résumées au tableau 1.

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

QC 001002: 1986, *Rules of Procedure of the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ)*
Amendment No. 1 (1992)

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 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.

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

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.

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.

In carrying out the tests, the tester shall strictly observe the manufacturer's handling, mounting and connection instructions. Test given in 10.4 may be omitted if the temperature coefficients α and β are already known.

Test conditions are summarized in table 1.

6 Conditions d'acceptation

Une conception de module doit être jugée satisfaisant aux essais de qualification et, par conséquent, d'un type approuvé par la CEI si chaque échantillon en essai remplit tous les critères suivants:

- a) la dégradation de la puissance maximale fournie dans les conditions d'essais normalisées (STC) n'excède ni la limite prescrite après chaque essai, ni 8 % après chaque séquence d'essais;
- b) aucun échantillon n'a présenté de circuit ouvert ou de défaut de masse pendant les essais;
- c) il n'y a pas de défaut visuel majeur évident, comme ceux définis à l'article 7;
- d) les exigences de l'essai d'isolement sont remplies après les essais.

Si deux modules ou plus ne remplissent pas 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 seront 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.

7 Défauts visuels majeurs

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

- a) surfaces externes déchirées, fissurées ou cassées;
- b) dans une cellule une fêlure dont la propagation peut isoler plus de 10 % de la surface de la cellule du circuit électrique du module;
- c) bulles, ou une 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 de l'isolement et/ou du 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 les détails de chaque défaut et essai de reprise, sera préparé par le laboratoire d'essais conformément à la procédure IECQ QC 001002. Une copie de ce rapport sera destinée au fabricant pour être utilisée en tant que référence.

9 Modifications

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

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 nor 8 % after each test sequence;
- b) no sample has exhibited any open-circuit or ground fault during the tests;
- c) there is no visual evidence of a major defect, as defined in clause 7;
- d) the insulation test requirements are met after the tests.

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 Major visual defects

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

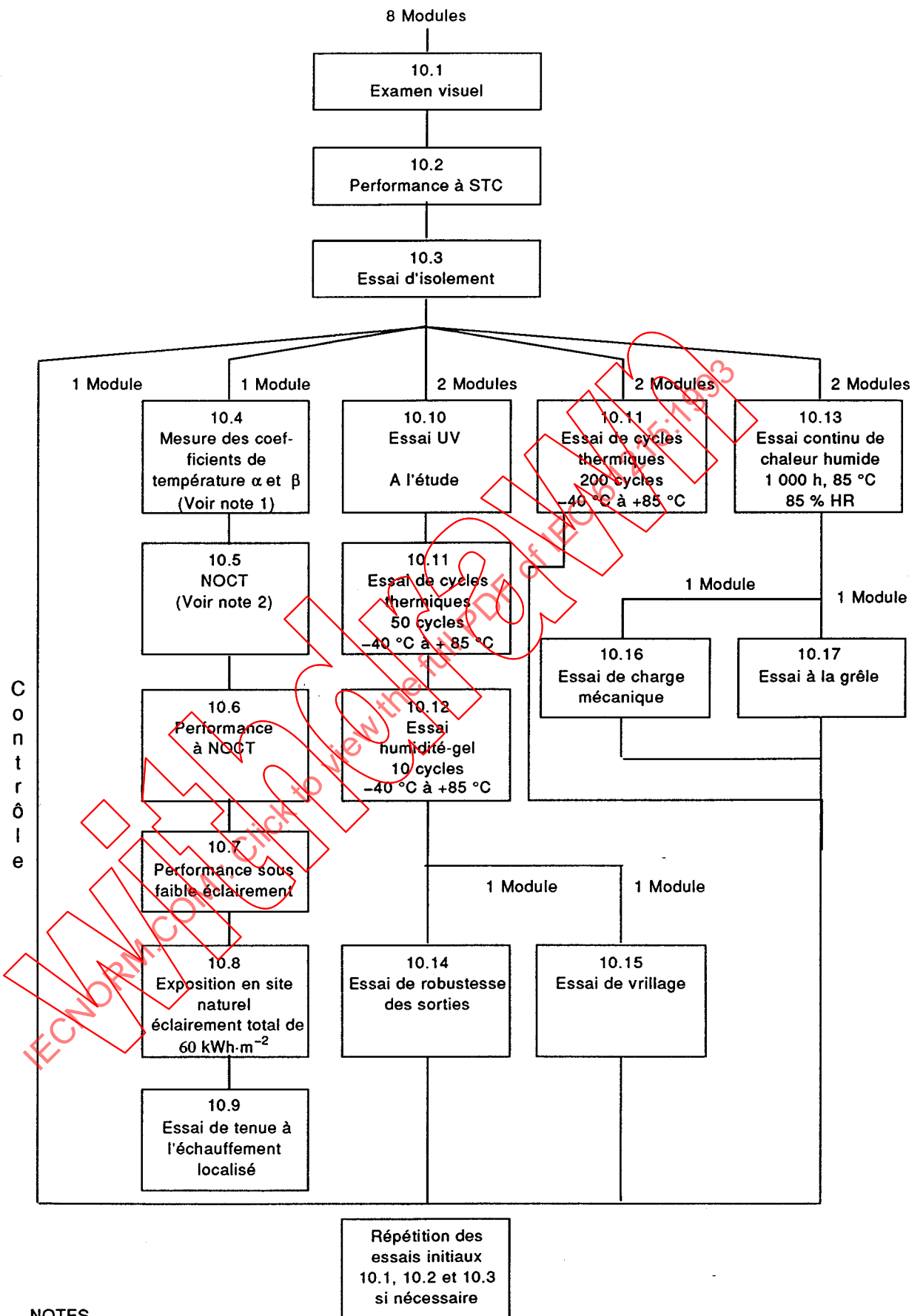
- a) broken, cracked, bent, misaligned or torn external surfaces;
- b) a crack in a cell whose propagation could remove more than 10 % of that cell's area from the electrical circuit of the module;
- c) bubbles or delamination forming a continuous path between any part of the electrical circuit and the 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 and re-tests, shall be prepared by the test agency in accordance with IECQ procedure QC 001002. A copy of this report shall be kept by the manufacturer for reference purposes.

9 Modifications

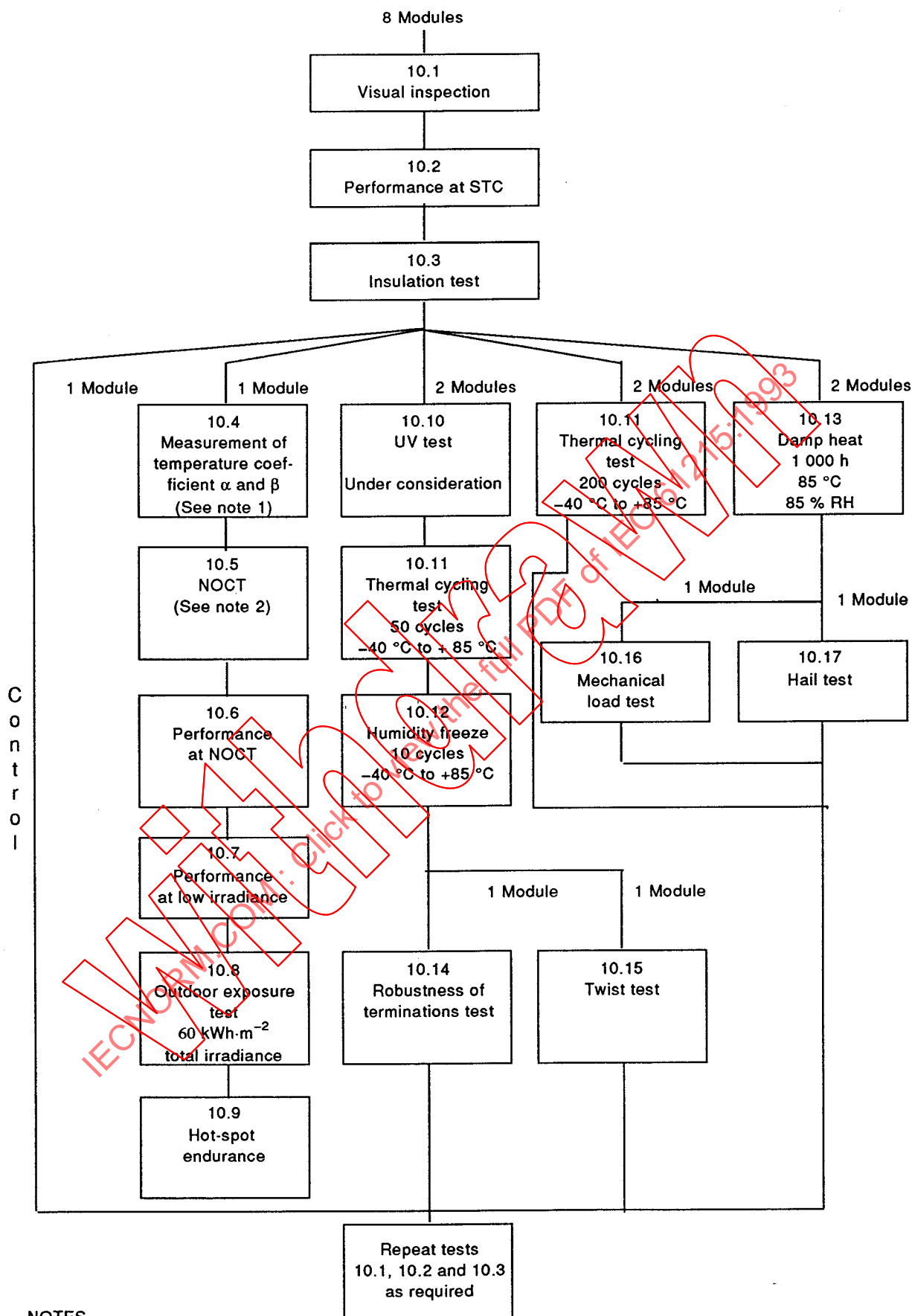
Any change in the design, materials, components or processing of the module may require a repetition of some or all of the qualification tests to maintain type approval.



NOTES

- 1 Peut être supprimé si α et β sont déjà connus.
- 2 Dans le cas de modules non conçus pour un montage sur une structure dégagée, la valeur de NOCT peut être remplacée par la température moyenne de jonction de cellule, à l'équilibre dans les conditions de l'environnement de référence normalisée, le module étant monté conformément aux recommandations du fabricant.

Figure 1 – Séquence d'essais de qualification



NOTES

1 May be omitted if α and β are already known.

2 In the case of modules not designed for open-rack mounting, the NOCT 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.

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 à STC	Température de cellule: 25 °C; éclairement: 1 000 W·m ⁻² avec répartition spectrale d'éclairement solaire de référence selon la CEI 904-3
10.3	Essai d'isolement	1 000 V c.c. + deux fois la tension du système à STC pendant 1 min. Résistance d'isolement pas 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 ⁻² Température ambiante: 20 °C Vitesse du vent: 1 m·s ⁻¹
10.6	Performance à NOCT	Température de cellule NOCT Eclairement: 800 W·m ⁻² avec répartition spectrale d'éclairement solaire de référence selon la CEI 904-3
10.7	Performance sous faible éclairement	Température de cellule: 25 °C Eclairement: 200 W·m ⁻² 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 ⁻²
10.9	Essai de tenue à l'échauffement localisé	Cinq expositions de 1 h à un éclairement de 1 000 W·m ⁻² 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	1 000 h à +85 °C, 85 % HR
10.14	Essai de robustesse des sorties	Selon 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 2 400 Pa appliquée pendant 1 h successivement à la face avant puis arrière
10.17	Essai de grêle	Bille de glace de 25 mm lancée à 23 m·s ⁻¹ , dirigée sur 11 points d'impact

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: 1 000 W·m ⁻² with IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.3	Insulation test	1 000 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 ⁻² Ambient temperature: 20 °C Wind speed: 1 m·s ⁻¹
10.6	Performance at NOCT	Cell temperature: NOCT Irradiance: 800 W·m ⁻² with IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.7	Performance at low irradiance	Cell temperature: 25 °C Irradiance: 200 W·m ⁻² with IEC 904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.8	Outdoor exposure test	60 kWh·m ⁻² total solar irradiation
10.9	Hot-spot endurance test	Five 1 h exposures to 1 000 W·m ⁻² 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	1 000 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 2 400 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 ⁻¹ , directed at 11 impact locations

10 Procédures d'essai

10.1 Examen visuel

10.1.1 Objet

L'objet de cette séquence de test est de détecter tout défaut visible du module.

10.1.2 Procédure

Chaque module est examiné avec soin avec un éclairage supérieur ou égal à 1 000 lux pour les conditions suivantes:

- surfaces extérieures cassées, fêlées, vrillées, désalignées ou déchirées;
- cellules cassées;
- cellules fêlées;
- interconnexions ou jonctions défectueuses;
- cellules touchant d'autres cellules ou le cadre;
- défauts de collage;
- bulles ou délamination formant un chemin continu entre une cellule et le bord du module;
- surfaces collantes au toucher des matériaux plastiques;
- connexions défectueuses, parties électriques actives exposées;
- toute autre condition qui pourrait affecter les performances.

Un relevé ou une photographie doit être fait sur la nature ou 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 à 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: $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, éclairage: $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), en utilisant un éclairage solaire naturel ou un simulateur de classe A conformes aux exigences de la CEI 904-3.

10.2.2 Procédure

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

10 Test procedures

10.1 Visual inspection

10.1.1 Purpose

To detect any visual defects in the module.

10.1.2 Procedure

Carefully inspect each module under an illumination of not less than 1 000 lux for the following conditions:

- cracked, bent, misaligned or torn external surfaces;
- broken cells;
- cracked cells;
- faulty interconnections or joints;
- cells touching one another or the frame;
- failure of adhesive bonds;
- bubbles or delamination forming a continuous path between a cell and the edge of the module;
- tacky surfaces of plastic materials;
- faulty terminations, exposed live electrical parts;
- any other conditions which may affect performance.

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 purposes 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: $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, irradiance: $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) using natural sunlight or a class A simulator conforming to the requirements of IEC 904-3.

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 Essai d'isolement

10.3.1 Objet

Cet essai a pour but de déterminer si le module est ou non suffisamment isolé, 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 %.

10.3.3 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.
- 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 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 $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ au maximum jusqu'à une tension égale à une valeur de 1 000 V à laquelle on ajoute deux fois la tension maximale du système (c'est-à-dire la tension en circuit ouvert du système à STC). La tension est maintenue à cette valeur pendant 1 min. Dans le cas où la tension 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 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'essais:

- aucune rupture diélectrique (inférieure à $50 \mu\text{A}$) ou claquage en surface pendant l'étape c);
- la résistance d'isolement n'est pas inférieure à $50 \text{ M}\Omega$.

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 (α) et de la tension (β) 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 $\pm 30 \%$ 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.

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 *Procedure*

- a) Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of a d.c. insulation tester with a current limitation.
- 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 1 000 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 $50 \text{ M}\Omega$.

10.4 *Measurement of temperature coefficients*

10.4.1 *Purpose*

To determine the temperature coefficients of current (α) and voltage (β) 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 ± 30 % of this level. This procedure supplements that in IEC 891 for measuring these coefficients from a representative set of single cells.

10.4.2 Equipement

a) Un simulateur solaire (classe B ou mieux) conforme à une future norme CEI (à l'étude). 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 température présentant un intérêt.

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 de circuit-ouvert à intervalles de 5 °C sur une gamme de température 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 température présentant un intérêt, calculer les coefficients de température du module α et β .

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:

10.4.2 Apparatus

a) Solar simulator (class B or better), conforming to future standard IEC (under consideration). 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 $\pm 0,5$ °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 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 α and β , 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):

- 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: $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Vitesse du vent: $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Charge électrique: aucune (circuit ouvert)

NOCT peut être utilisée par le concepteur du système comme une indication de la température de fonctionnement du module sur site, et, par conséquent, est un paramètre utile pour comparer les performances de 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 devront être pris en compte.

Ce document décrit deux méthodes pour déterminer 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.

La seconde, nommée «la 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 de vent et d'éclairement) de la même façon que les plaques de référence utilisées pour la mesure. Les modules en 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 ($T_J - T_{\text{amb}}$) est largement indépendante de la température ambiante et est essentiellement proportionnelle linéairement à l'éclairement pour des niveaux d'éclairement supérieur à $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. La procédure consiste à tracer ($T_J - T_{\text{amb}}$) en fonction de G pour une période en conditions de vent favorables. Une valeur préliminaire de NOCT est ainsi déterminée en ajoutant $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ à la valeur de ($T_J - T_{\text{amb}}$) 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 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ et $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Tilt angle: at normal incidence to the direct solar beam at local solar noon
- Total irradiance: $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Ambient temperature: $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Wind speed: $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- 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.

The second, called "the 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. Crystalline silicon 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 ($T_J - T_{\text{amb}}$) 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 ($T_J - T_{\text{amb}}$) against G for a period when wind conditions are favourable. A preliminary NOCT value is then determined by adding $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to the value of ($T_J - T_{\text{amb}}$) 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 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

10.5.3.2 Equipement

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 sera 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, le ou les modules à essayer seront installés selon les recommandations du fabricant.

b) Un pyranomètre, installé dans le plan du ou des modules à au plus, 0,3 m 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 m au dessus du bord supérieur des modules et à environ 1,2 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 s:

Paramètres

éclairage

température ambiante

température de cellule

vitesse du vent

direction du vent

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

10.5.3.3 Installation du module à essayer

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

Hauteur: Le bord inférieur du ou des modules à essayer devra 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.

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 Test module mounting

Tilt angle: the test module(s) shall be positioned so that it is 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 aluminium plates or other modules of the same design shall be used to fill out the remaining open area of the planar surface.

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 devra pas permettre de réflexion solaire anormalement élevée et devra 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 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 $1 \pm 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - températures ambiantes en dehors de la gamme $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ ou bien variant de plus de 5°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'éclairement 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°C à cette valeur pour obtenir la valeur préliminaire de NOCT.
- f) Calculer la température ambiante moyenne, T_{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°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.

10.5.4 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 de 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

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 $1 \pm 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - ambient temperatures outside the range $20 \pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ or varying by more than $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - 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 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to give the preliminary value of NOCT.
- f) Calculate the average ambient temperature, T_{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 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. If the difference is more than $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, repeat the procedure on a third day and average all three values of NOCT.

10.5.4 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

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 en 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 devra 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. Éviter les réflexions solaires non uniformes venant du sol ainsi que des objets placés derrière le plan d'essai.

10.5.4.4 *Équipement*

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 (± 5 °C) 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 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.
- 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 figure 4.
- e) Une sonde de température ambiante ayant une constante de temps proche de celle des modules, installée dans une enceinte bien ventilée, près des sondes de vent.

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 aluminium 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 aluminium 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) 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) 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 ± 1 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 en 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 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°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 ΔT_{JP} varie de plus de 4°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 ΔT_{JP} pour obtenir ΔT_{JPM}

- 3) Corriger ΔT_{JPM} aux conditions de SRE de la façon suivante:

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

- 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 temperatures

Accuracy: the total accuracy of the NOCT shall be ± 1 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°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 ΔT_{JP} varies by more than 4°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 ΔT_{JP} to give ΔT_{JPm} .
 - 3) Correct ΔT_{JPm} to the SRE as follows:

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

où

- f , le facteur de correction de l'éclairement, est égal à 800 divisé par l'éclairement moyen sur la période sélectionnée
- β , le facteur de correction de la température ambiante, 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 β est acceptable).

T_{amb} (°C)	β
0	1,09
10	1,05
20	1,00
30	0,96
40	0,92
50	0,87

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

- 4) Calculer la NOCT du module en essai comme suit:

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

T_{PR} étant 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.

where

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

β , the ambient temperature correction factor, is obtained from the average ambient temperature T_{amb} over the selected period using the following table (linear interpolation for β values is acceptable).

T_{amb} (°C)	β
0	1,09
10	1,05
20	1,00
30	0,96
40	0,92
50	0,87

R , the wind correction factor, 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:

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

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.

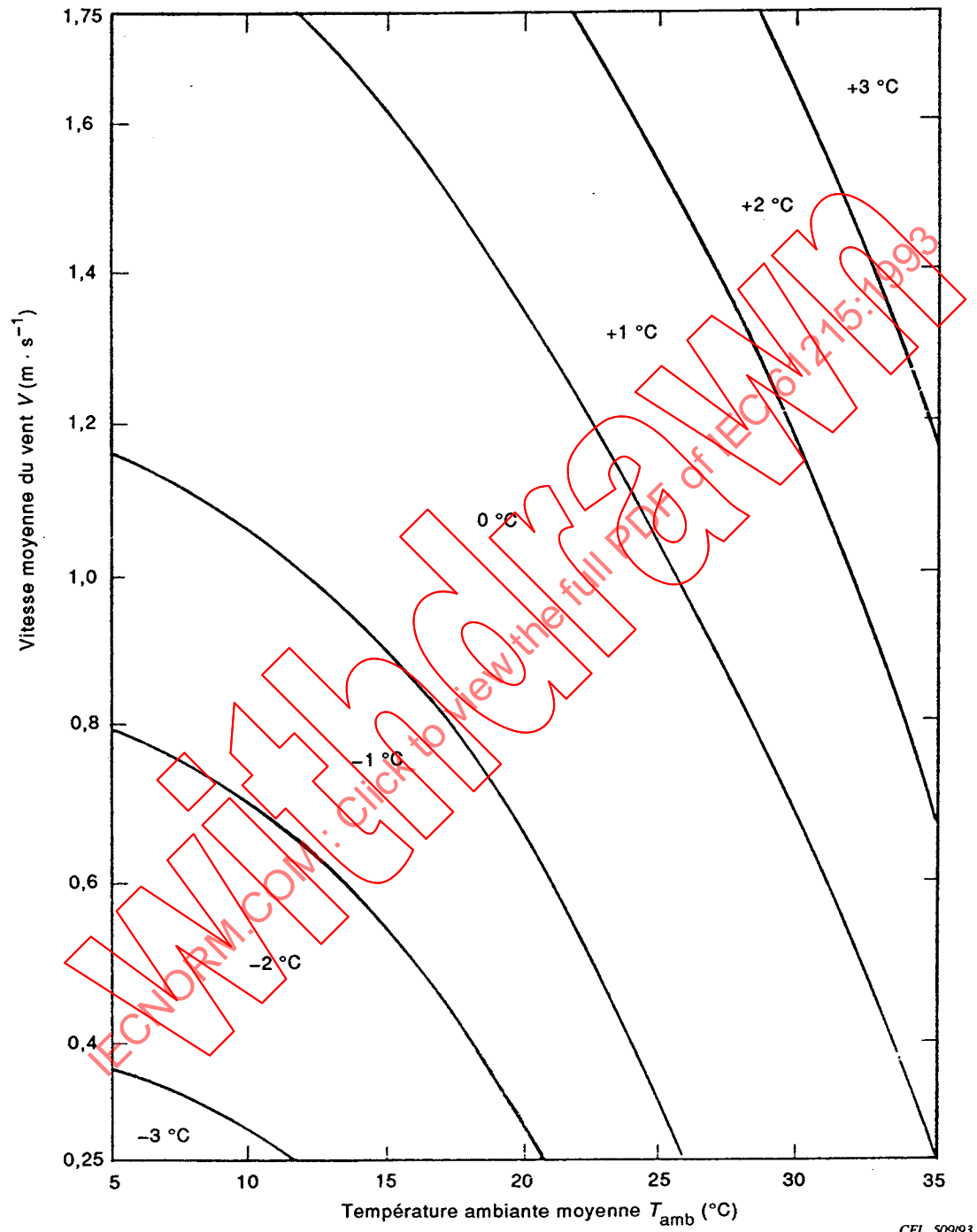


Figure 2 – Facteur de correction de NOCT

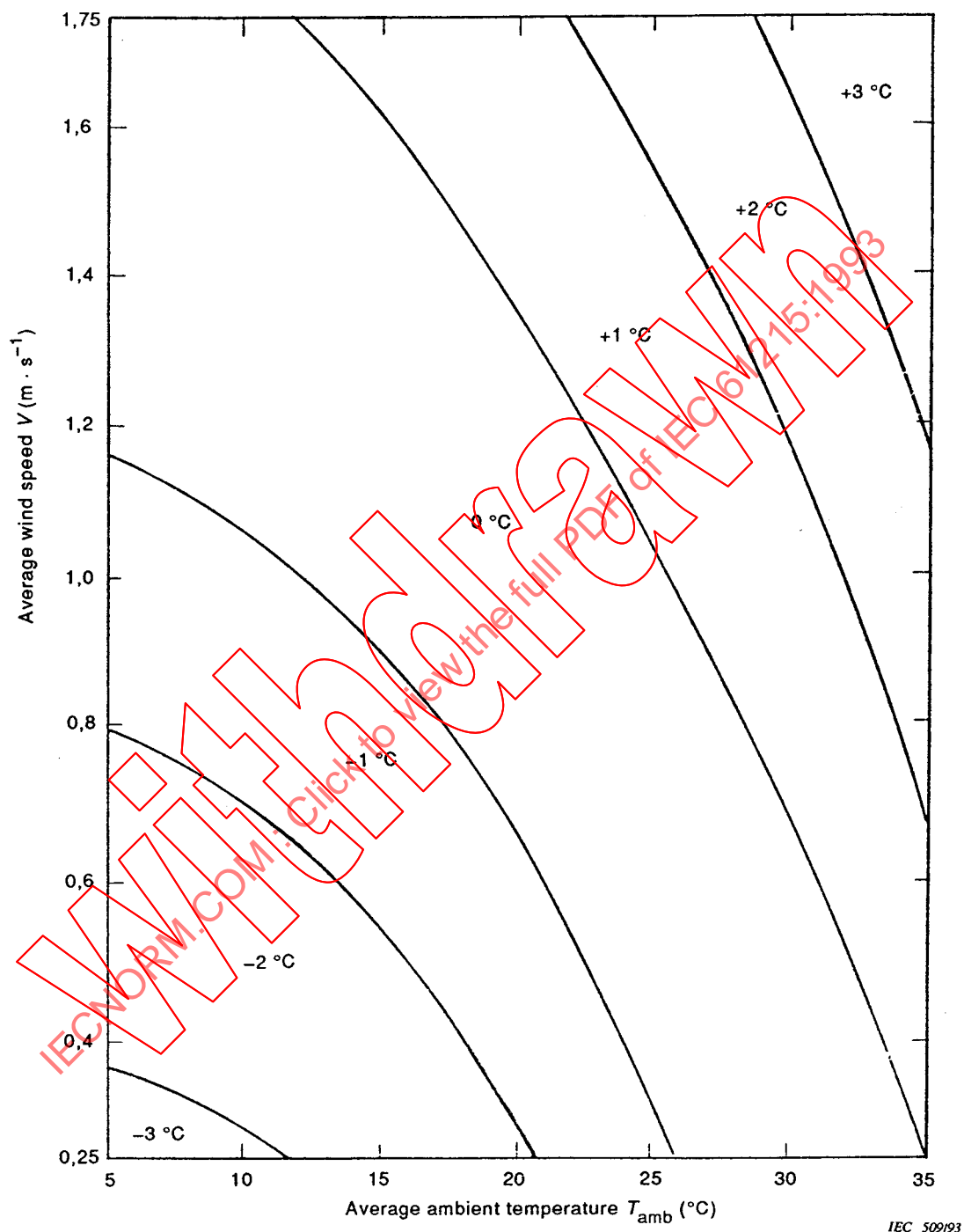
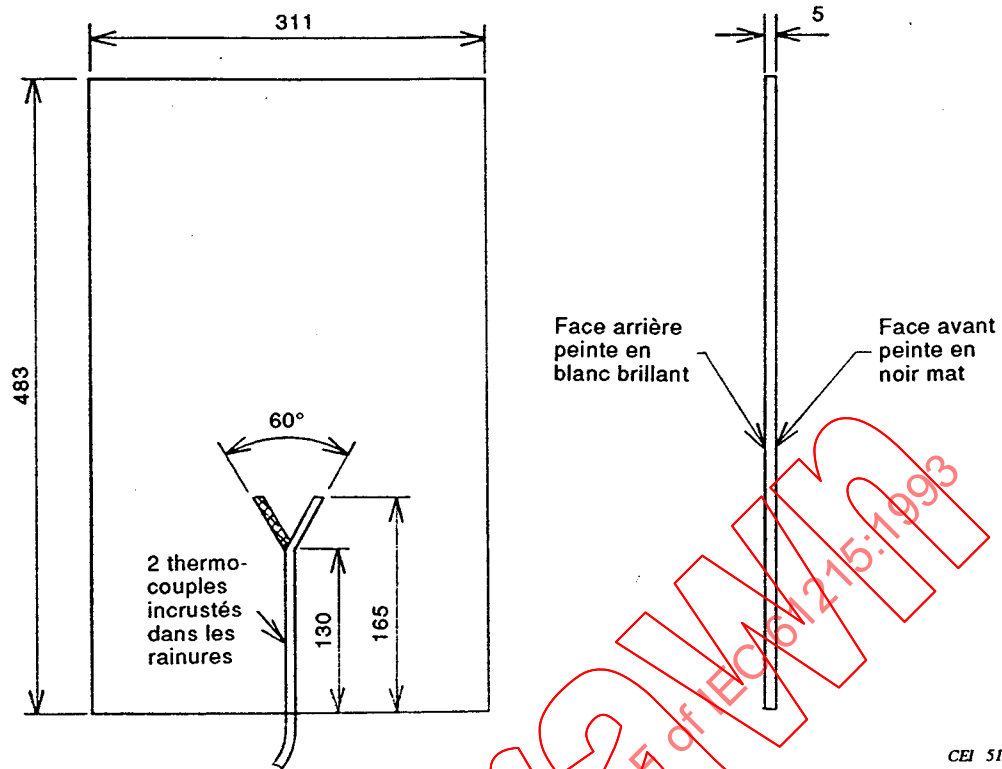


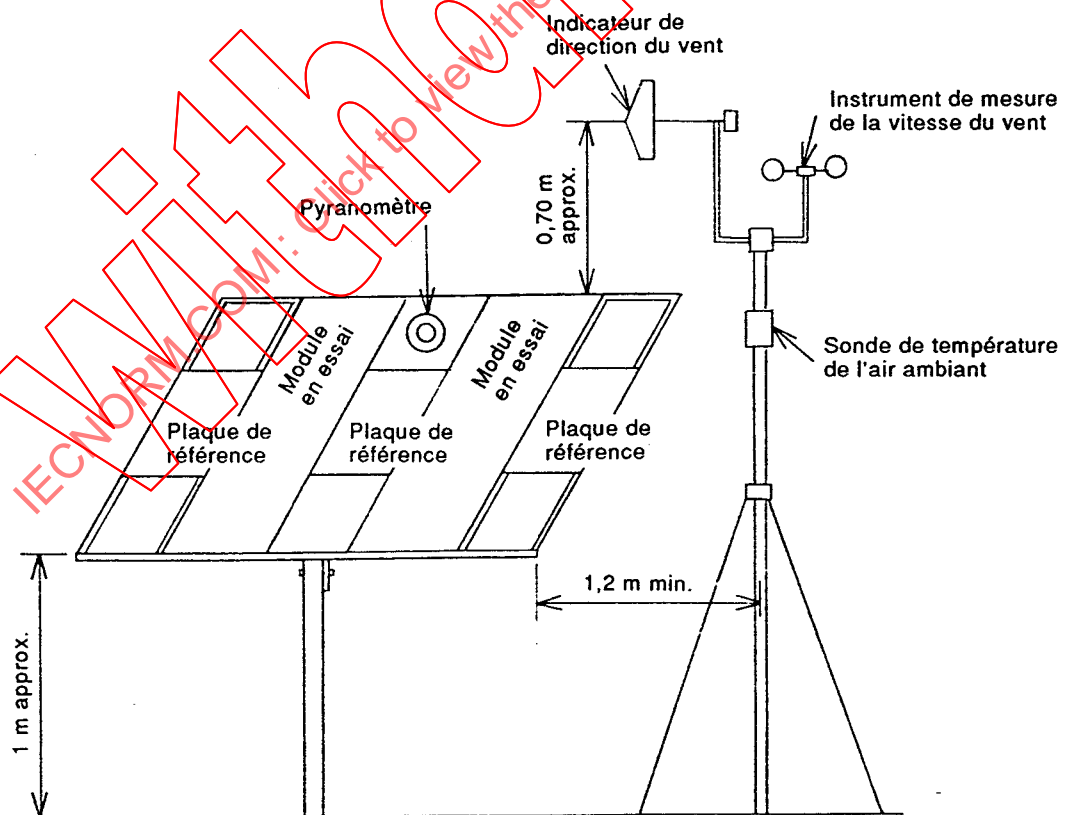
Figure 2 – NOCT correction factor



CEI 510/93

Dimensions en millimètres

Figure 3 – Plaque de référence



CEI 511/93

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

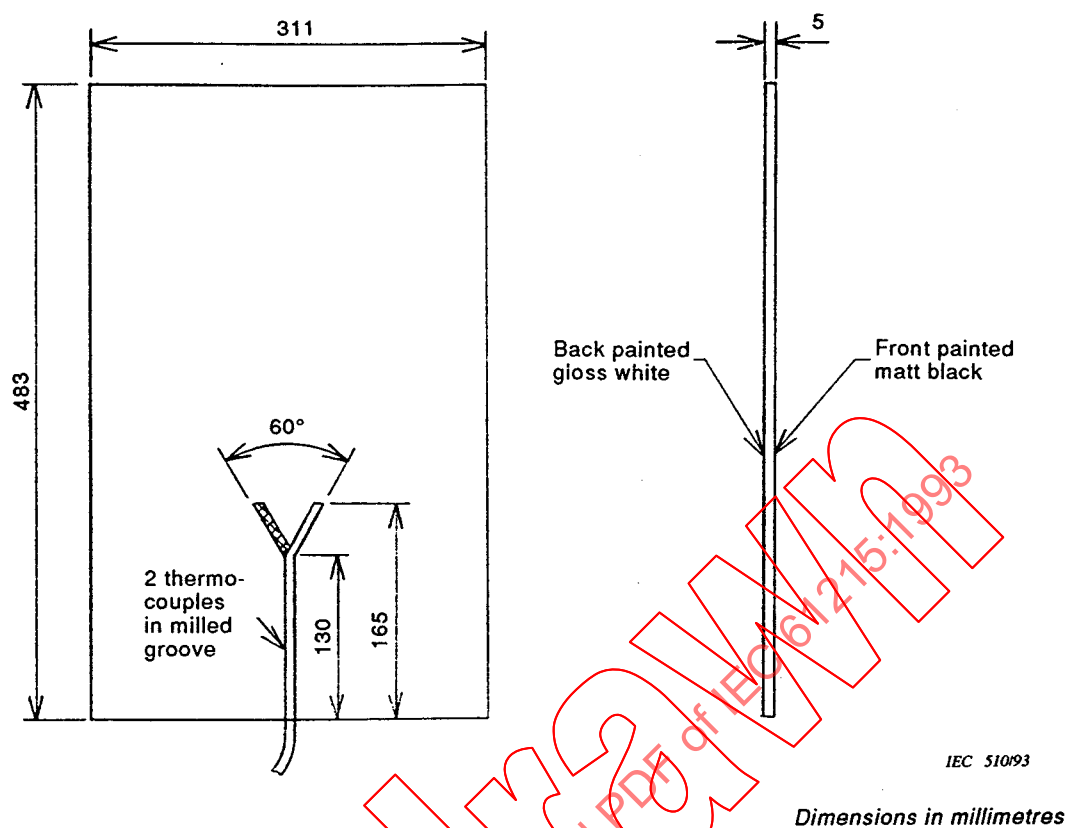


Figure 3 – Reference plate

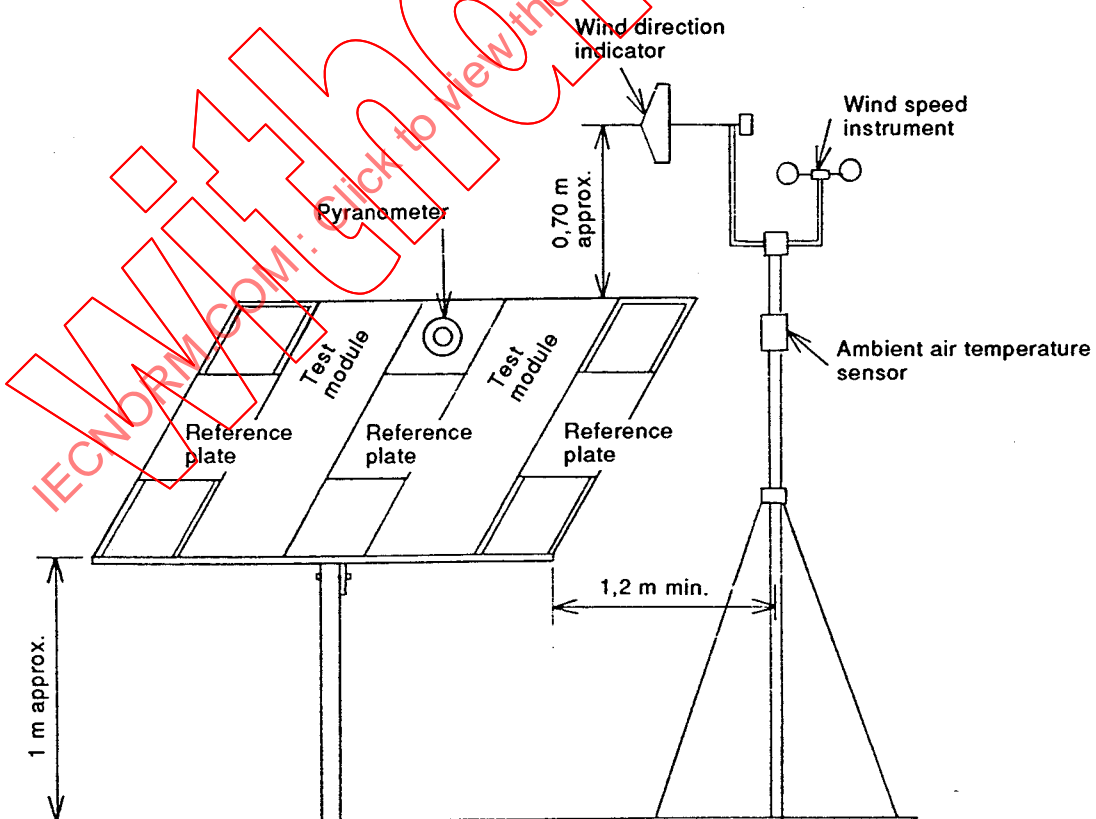


Figure 4 – NOCT measurement by reference plate method

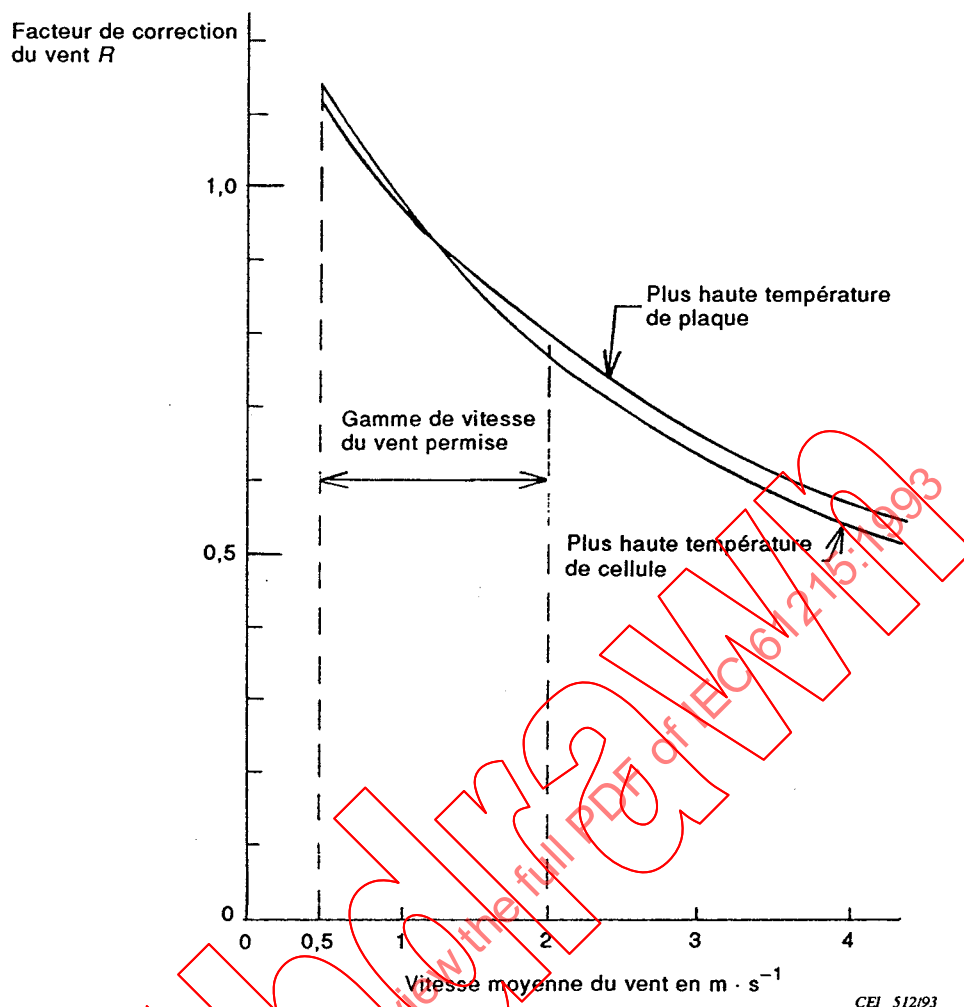


Figure 5. – Facteur de correction du vent

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), selon la CEI 904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou un simulateur de classe A conforme aux exigences de la CEI 904-3.

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

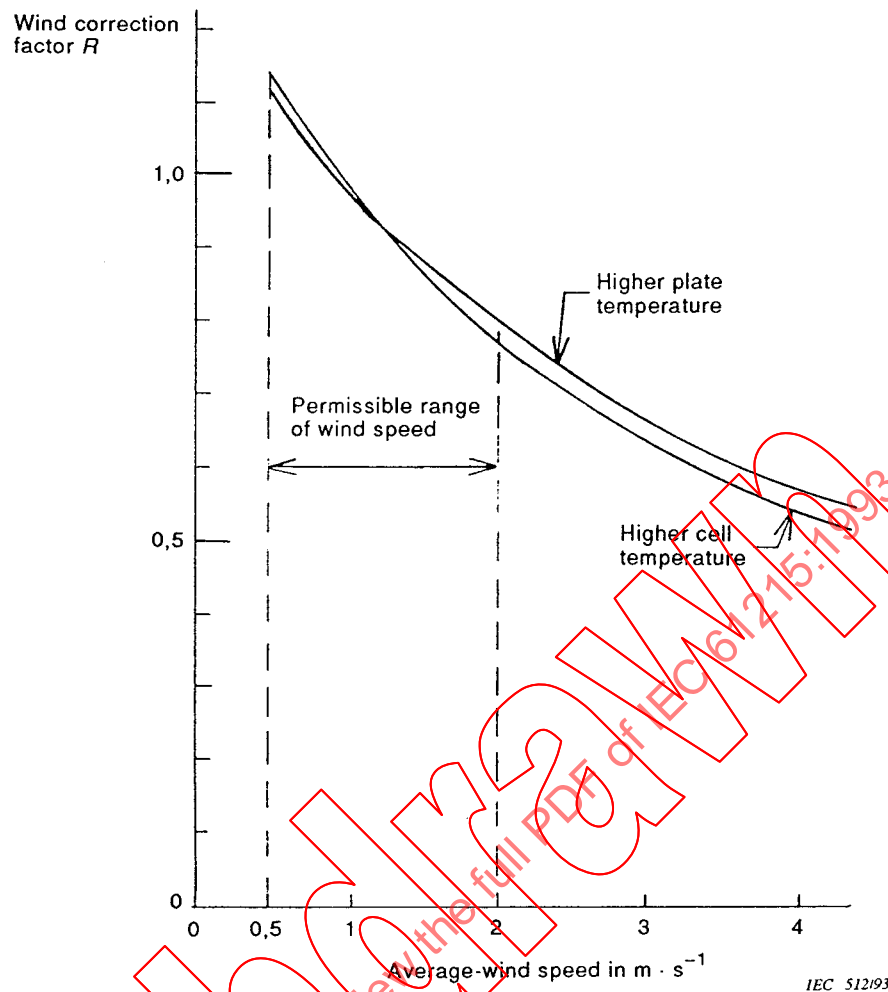


Figure 5 – Wind correction factor

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 the relevant IEC publication.

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⁻², selon la CEI 904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou un simulateur de classe A conforme aux exigences de la publication CEI correspondante.

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⁻² (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou simulateur de classe A conforme aux exigences de la publication CEI correspondante. L'éclairement doit être ramené au niveau spécifié en utilisant des filtres neutres ou tout 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 sont variées. Il convient d'utiliser cet essai seulement comme un guide ou un indicateur d'éventuels problèmes.

10.8.2 *Équipement*

- un dispositif de mesure de l'éclairement solaire avec une incertitude de ±10 %.
- 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*

- Mettre le module en court-circuit 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.
- Exposer le module à un éclairement cumulé de 60 kWh·m⁻², mesuré par le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions conformes aux climats généraux 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.

10.7 *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 $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (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 the relevant IEC publication.

10.7.2 *Procedure*

Determine the current-voltage characteristic of the module at $25 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ and an irradiance of $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (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 the relevant IEC publication. The irradiance shall be reduced to the specified level by using neutral filters 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 $\pm 10 \%$;
- b) means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor.

10.8.3 *Procedure*

- a) Short-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 $60 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$, as measured by the monitor, under conditions conforming to general 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 Exigences

- 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 à STC ne doit pas excéder 5 %;
- la résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

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 rupture d'une soudure ou 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 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 $(s - 1)$ cellules restantes du module. Ceci est représenté en 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 en 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.

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.

10.8.5 Requirements

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

10.9 Hot-spot endurance test

10.9.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand hot-spot heating effects, e.g. solder melting or deterioration of the encapsulation. This defect could be provoked by cracked or mismatched 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 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 must dissipate 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.

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.

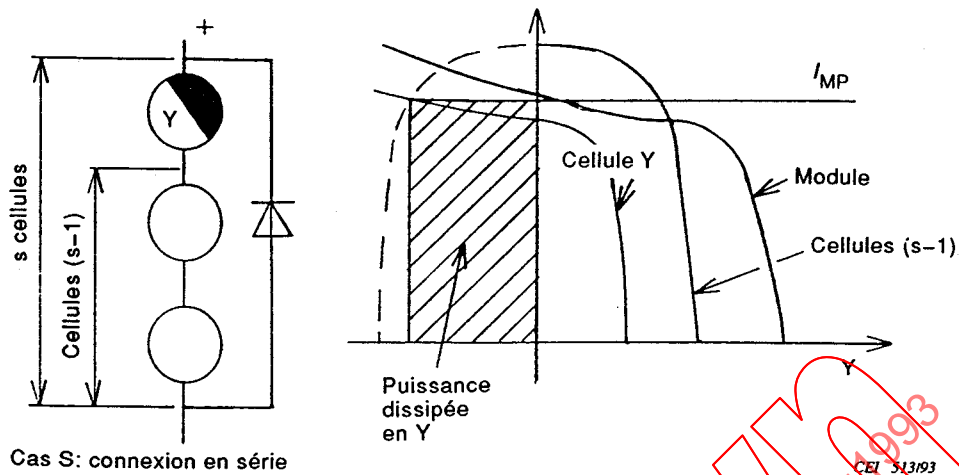


Figure 6 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type A

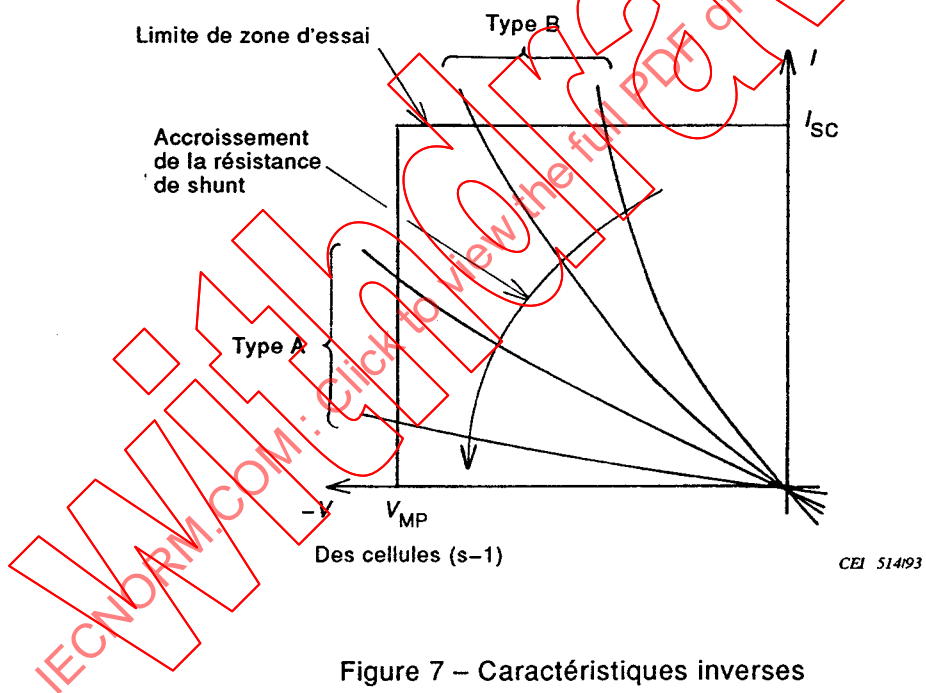


Figure 7 – Caractéristiques inverses

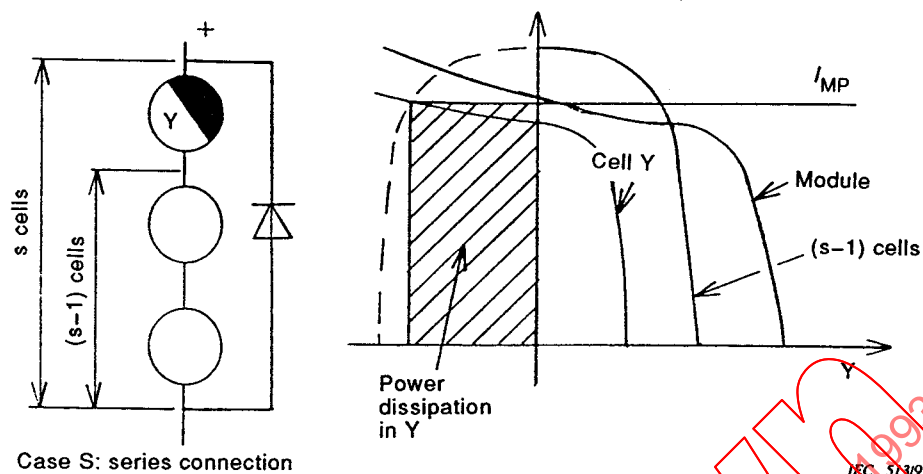


Figure 6 – Hot-spot effect in type A cell

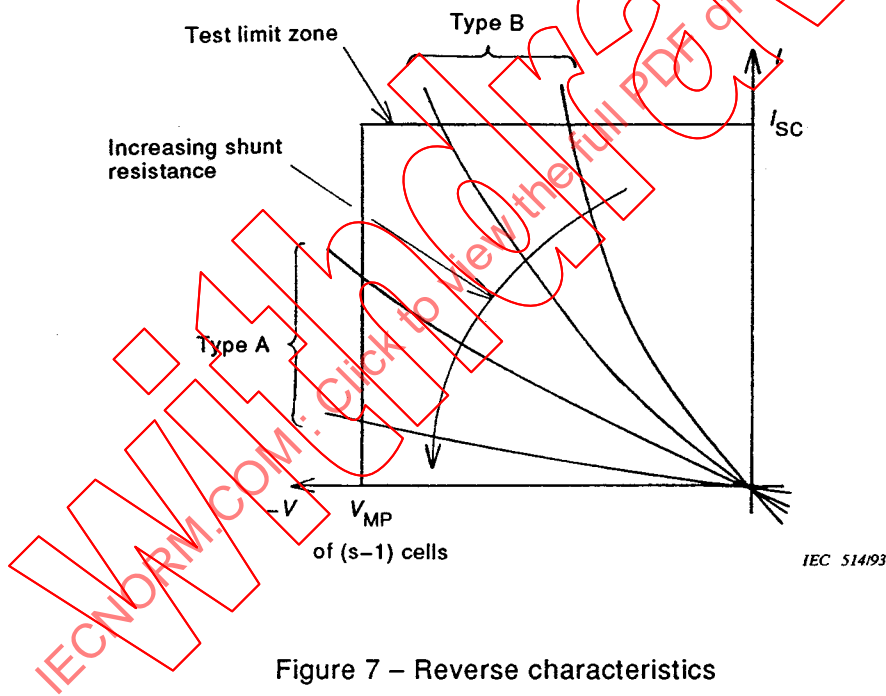


Figure 7 – Reverse characteristics

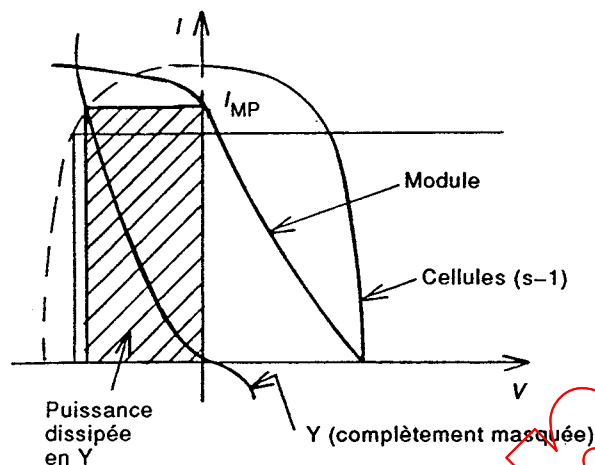


Figure 8 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B

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).

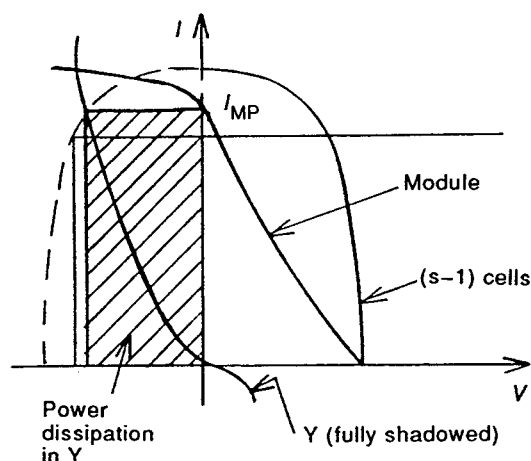
La présence de diodes by-pass limite la tension inverse des cellules internes et définit ainsi la partie du circuit à tester. Chaque configuration nécessite une procédure particulière de test de tenue à l'échauffement localisé. Le maximum de dissipation de puissance interne se produit quand le module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

10.9.4 Equipement

- a) Source de rayonnement 1: Simulateur solaire à éclairage permanent ou ensoleillement naturel capable de produire un éclairage d'au moins $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ avec une non uniformité inférieure à $\pm 2 \%$ et une stabilité temporelle de $\pm 5 \%$.
- b) Source de rayonnement 2: Un simulateur solaire à éclairage permanent de classe C (ou mieux) ou ensoleillement naturel 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 seront 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.



IEC 515/93

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 Apparatus

- a) Radiant source 1. Steady-state solar simulator or natural sunlight capable of an irradiance of not less than $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ with a non-uniformity not more than $\pm 2 \%$ and a temporal stability within $\pm 5 \%$.
- b) Radiant source 2. Class C steady-state solar simulator (or better) or natural sunlight with an irradiance of $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 10 \%$.
- 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 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, 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.

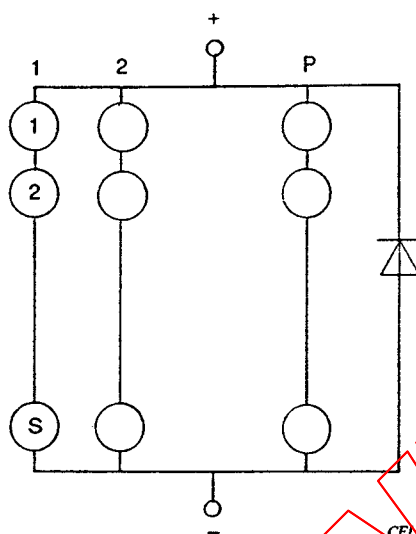


Figure 9 – Cas SP: Connexion en série-parallel

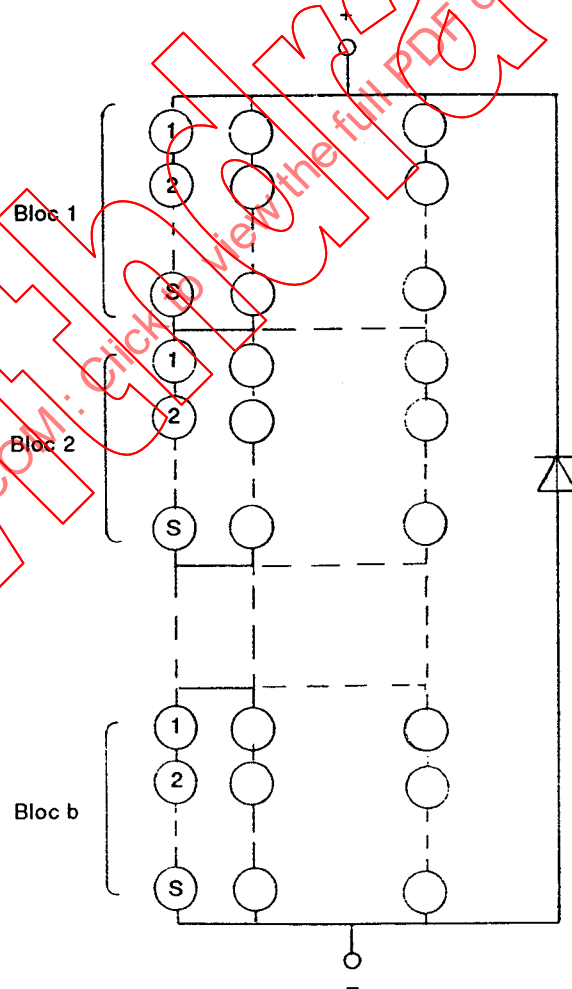
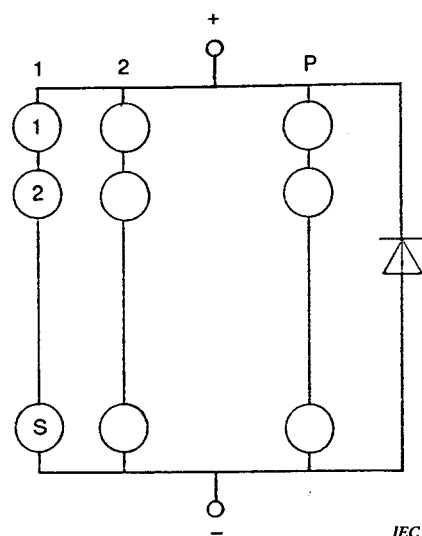
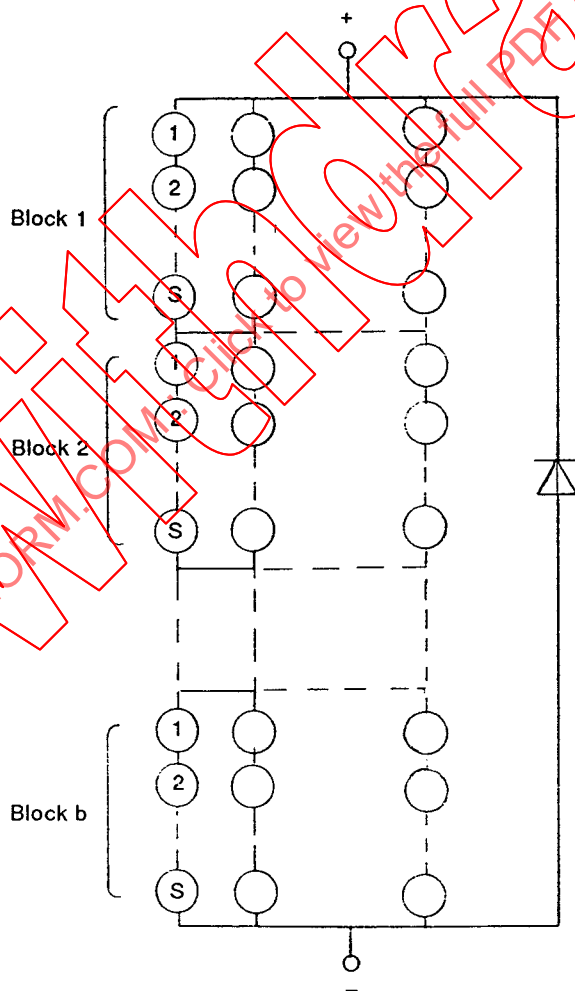


Figure 10 – Cas SPS: Connexion en série-parallel-série



IEC 516/93

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 devra pas varier de plus de $\pm 5 \%$.
- c) sous le même éclairage (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_{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 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 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 2 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;

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_{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_{SC} of the module is less than the I_{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_{SC} of the module coincides as closely as possible with I_{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_{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 the I_{SC} is not more than 10 % of I_{MP} .
- g) After 30 min, restore the irradiance to $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- 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_{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_{SC} is the short-circuit current of the unshadowed module;

I_{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) sous l'éclairement 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'éclairement ne devra pas varier de plus de $\pm 5\%$.
- c) Sous le même éclairement ($\pm 3\%$) 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 minutes pour remettre le module sous un éclairement de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- 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 maximum 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.

10.10 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).

L'essai UV est à l'étude.

- 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) 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 the I_{SC} is not more than 10 % of I_{MP} .
- g) After 30 min, restore the irradiance to $1\,000\text{ W m}^{-2}$.
- 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 W 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 $1\,000\text{ W m}^{-2}$.
- g) Repeat steps d), e) and f) a total of five times.

10.10 UV test

10.10.1 Purpose

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

The UV test is under consideration.

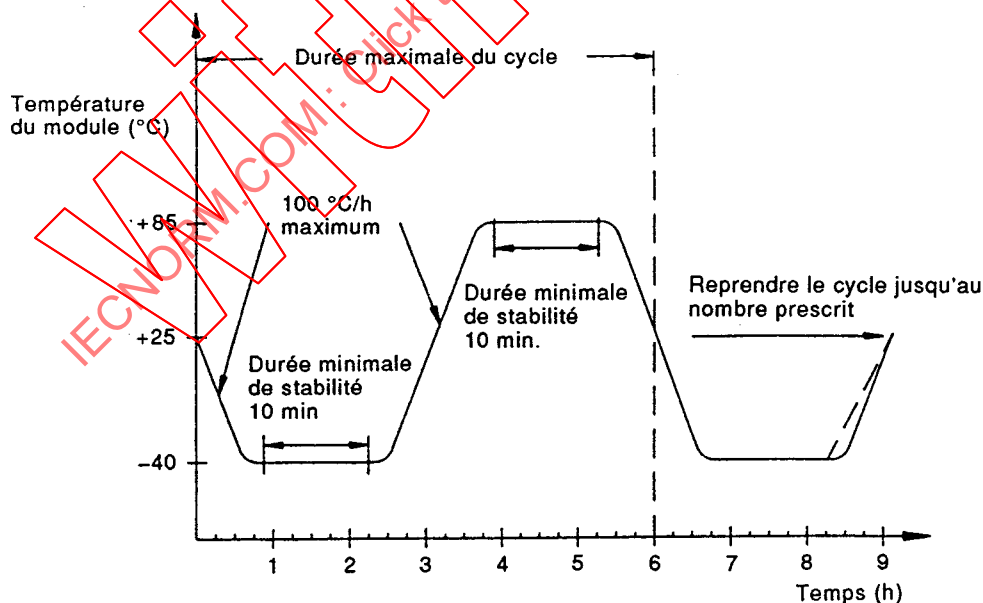
10.11 Essai de cycles thermiques

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.

10.11.2 Equipement

- 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 en figure 11.
- 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, les modules soient isolés thermiquement.
- Des moyens pour mesurer et enregistrer la température des modules avec une précision de $\pm 1^\circ\text{C}$. 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.
- Des moyens pour vérifier, pendant tout l'essai, la continuité du circuit interne de chaque module.
- 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

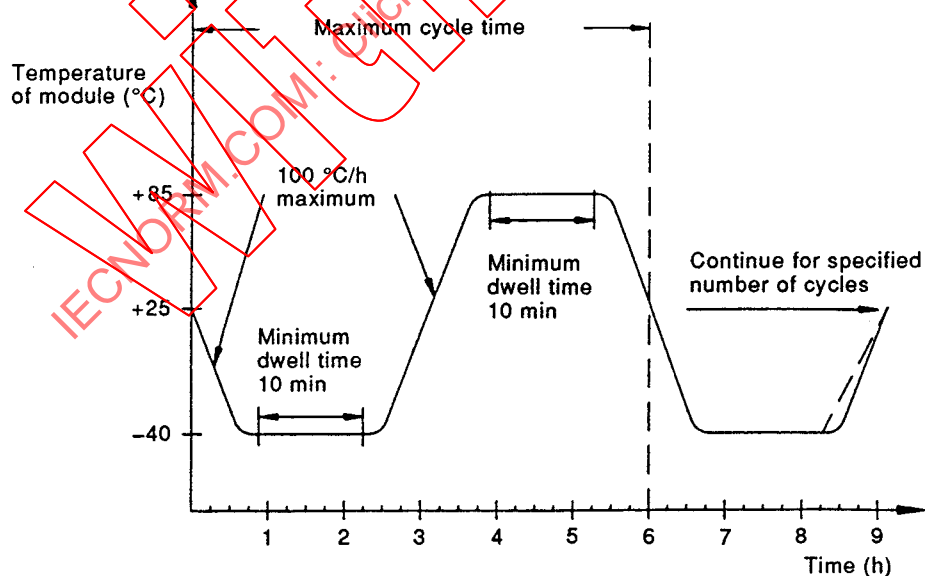
10.11 Thermal cycling test

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.

10.11.2 Apparatus

- 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.
- 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.
- 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.
- Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.
- 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 les capteurs de température à l'équipement d'enregistrement de température. Connecter l'instrumentation de mesure de continuité aux sorties du module. Connecter l'instrumentation de vérification d'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 en 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 minimum de 1 h, répéter les essais 10.1, 10.2, 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 définis à l'article 7;
- la dégradation par rapport à la valeur initiale de la puissance maximum de sortie à STC ne doit pas excéder 5 %;
- la résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

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. 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 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 $-40 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+85 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, in accordance with the profile in figure 11. The rate of change of temperature between the low and high extremes shall not exceed $100 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 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;
- the degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

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

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 $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. (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.

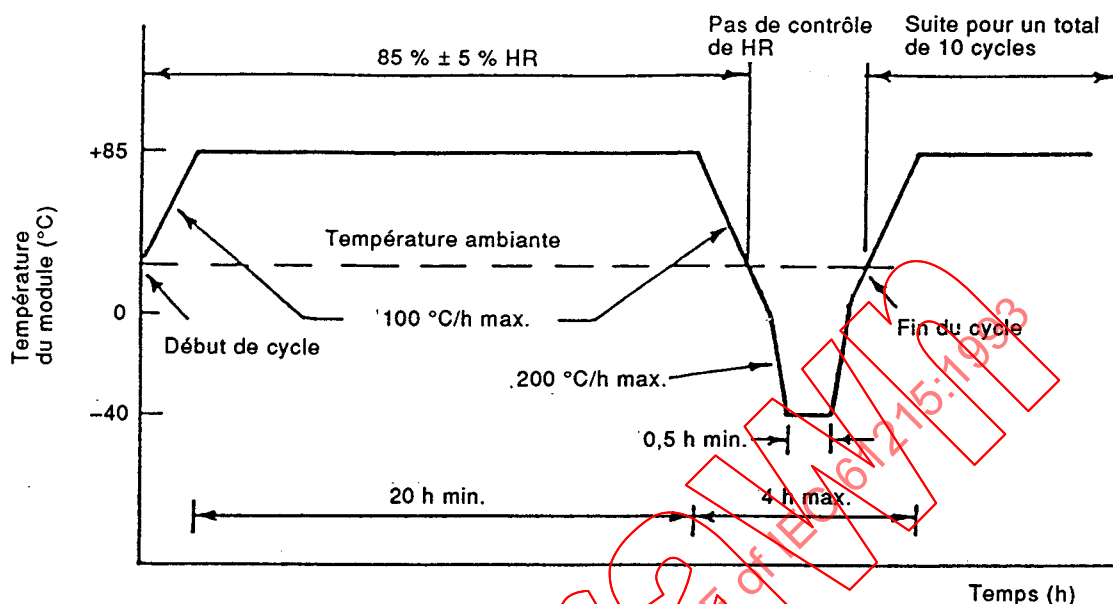


Figure 12 – Cycle humidité-gel

CEI 519/93

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 ± 2 °C des valeurs spécifiées et l'humidité relative doit être maintenue à ± 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 chaque module 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 %.

- 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.

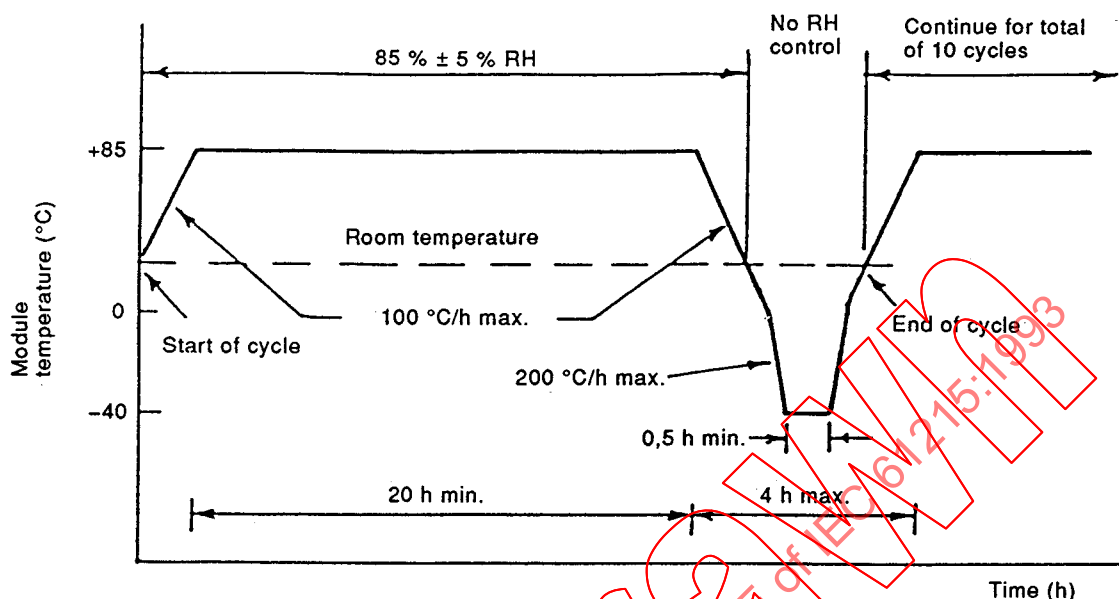


Figure 12 – Humidity-freeze cycle

IEC 519/93

10.12.2.2 Procedure

- a) Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle.
- b) 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.
- c) 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.
- d) After closing the chamber, subject the module(s) to 10 complete cycles in accordance with the profile in figure 12. The maximum and minimum temperatures shall be within ± 2 °C of the specified levels and the relative humidity shall be maintained within ± 5 % of the specified value at all temperatures above room temperature.
- e) 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) 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 %.

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 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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.

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 dans la chambre A 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.

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 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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° 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 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 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 dégradation, par rapport à la valeur initiale, de la puissance maximale de sortie à STC ne doit pas excéder 5% ;
- la résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

b) 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.

c) Module temperature, continuity and insulation instrumentation, as required for the single-chamber method.

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° 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 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 profile 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 as quickly as possible to chamber B, mounting it, as before, at an angle of not less than 5° to the horizontal and re-connecting it to the temperature, continuity and insulation instrumentation.

g) After closing the chamber, subject the module(s) to the second part of the profile 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;
- the degradation of maximum output power at STC shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.