

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60904-1

Deuxième édition
Second edition
2006-09

Dispositifs photovoltaïques –

Partie 1:

**Mesure des caractéristiques courant-tension
des dispositifs photovoltaïques**

Photovoltaic devices –

Part 1:

**Measurement of photovoltaic
current-voltage characteristics**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60904-1:2006

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60904-1

Deuxième édition
Second edition
2006-09

Dispositifs photovoltaïques –

Partie 1:

**Mesure des caractéristiques courant-tension
des dispositifs photovoltaïques**

Photovoltaic devices –

Part 1:

**Measurement of photovoltaic
current-voltage characteristics**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application et objet	8
2 Références normatives	8
3 Exigences générales de mesures	10
4 Matériel	12
4.1 Pour les mesures sous éclairement solaire naturel	12
4.2 Pour les mesures sous éclairement solaire simulé	12
5 Mesures sous éclairement solaire naturel	12
6 Mesures sous éclairement solaire simulé continu	14
7 Mesure sous éclairement solaire simulé en impulsions	18
8 Rapport d'essai	22

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	9
2 Normative references	9
3 General measurement requirements.....	11
4 Apparatus.....	13
4.1 For measurements in natural sunlight.....	13
4.2 For measurements in simulated sunlight.....	13
5 Measurements in natural sunlight	13
6 Measurement in steady-state simulated sunlight.....	15
7 Measurement in pulsed simulated sunlight	19
8 Test report.....	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

**Partie 1: Mesure des caractéristiques courant-tension
des dispositifs photovoltaïques**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60904-1 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 1987, dont elle constitue une révision technique.

Les principaux changements par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

- Ajout d'un alinéa concernant l'objet de cette norme.
- Ajout d'un article « Références normatives ».
- Mise à jour des conditions générales de mesures (Figure 1 obsolète retirée).
- Détails et conseils complémentaires sur la façon de mesurer sous éclairage solaire naturel ou simulé.
- Exigences sur le rapport d'essai étendues et fondées sur l'ISO 17025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

**Part 1: Measurement of photovoltaic
current-voltage characteristics**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60904-1 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1987. This edition constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are as follows:

- Added object.
- Added normative references.
- Updated original Clause 2 (General Measurement Requirements), removing Figure 1 as it is obsolete.
- Provided more detail and guidance on how to measure in sunlight or simulated sunlight.
- Expanded original Clause 6 (Test Report) with requirements based on ISO 17025.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/433/FDIS	82/450/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60904, présentées sous le titre général *Dispositifs photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

FDIS	Report on voting
82/433/FDIS	82/450/RVD

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

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

A list of all parts of IEC 60904 series, under the general title *Photovoltaic devices*, can be found on the IEC website.

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

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

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1: Mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60904 décrit les procédures pour la mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques sous éclairement solaire naturel ou simulé. Ces procédures sont applicables aux cellules solaires individuelles, aux sous-ensembles de cellules solaires ou aux modules PV.

NOTE 1 La présente norme peut être applicable aux spécimens d'essai multi-jonctions, si chaque sous-jonction produit la même quantité de courant qu'elle produirait sous le spectre de référence AM1,5 dans la CEI 60904-3.

NOTE 2 La présente norme peut être applicable aux dispositifs PV conçus pour être utilisés sous une exposition énergétique concentrée, s'ils sont irradiés à l'aide d'un éclairement normal direct, et si une correction de désadaptation par rapport à un spectre de référence normal direct est effectuée.

L'objet de la présente norme est de formuler des exigences fondamentales pour la mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques, de définir des procédures pour les différentes techniques de mesure utilisées et de présenter des pratiques visant à réduire l'incertitude de mesure.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60891: *Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*

CEI 60904-2: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences relatives aux cellules solaires de référence*

CEI 60904-3: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence*

CEI 60904-5: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 5: Détermination de la température de cellule équivalente (ECT) des dispositifs photovoltaïques (PV) par la méthode de la tension en circuit ouvert*

CEI 60904-6: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 6: Exigences relatives aux modules solaires de référence*

CEI 60904-7: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 7: Calcul de l'erreur de désadaptation des réponses spectrales introduite dans les mesures de test d'un dispositif photovoltaïque*

CEI 60904-9: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires*

CEI 60904-10: *Dispositifs photovoltaïques – Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité*

ISO/CEI 17025: *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics

1 Scope and object

This part of IEC 60904 describes procedures for the measurement of current-voltage characteristics of photovoltaic devices in natural or simulated sunlight. These procedures are applicable to a single photovoltaic solar cell, a sub-assembly of photovoltaic solar cells, or a PV module.

NOTE 1 This standard may be applicable to multi-junction test specimens, if each sub-junction generates the same amount of current as it would under the reference AM1,5 spectrum in IEC 60904-3.

NOTE 2 This standard may be applicable to PV devices designed for use under concentrated irradiation if they are irradiated using direct normal irradiance and a mismatch correction with respect to a direct normal reference spectrum is performed.

The purpose of this standard is to lay down basic requirements for the measurement of current-voltage characteristics of photovoltaic devices, to define procedures for different measuring techniques in use and to show practices for minimising measurement uncertainty.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60891: *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic (PV) devices*

IEC 60904-2: *Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar cells*

IEC 60904-3: *Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*

IEC 60904-5: *Photovoltaic devices – Part 5: Determination of equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method*

IEC 60904-6: *Photovoltaic devices – Part 6: Requirements for reference solar modules*

IEC 60904-7: *Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device*

IEC 60904-9: *Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements*

IEC 60904-10: *Photovoltaic devices – Part 10: Methods for linearity measurements*

ISO/IEC 17025: *General requirements for competence of testing and calibration laboratories*

3 Exigences générales de mesures

- a) Les mesures d'éclairement doivent être effectuées à l'aide d'un dispositif PV de référence emballé et étalonné conformément à la CEI 60904-2 ou à la CEI 60904-6, ou d'un pyranomètre. Le spectre du dispositif PV de référence doit être adapté au spécimen d'essai, ou une correction de désadaptation des réponses spectrales doit être réalisée conformément à la CEI 60904-7. Le dispositif de référence doit être linéaire dans le courant de court-circuit, tel que défini dans la CEI 60904-10 dans la plage d'éclairement concernée.

NOTE Afin que son spectre soit considéré comme adapté, il faut qu'un dispositif de référence soit construit en utilisant la même technologie de cellule et le même enrobage que le dispositif d'essai. Si ce n'est pas le cas, il faut que la désadaptation des réponses spectrales soit indiquée.

- b) Les températures du dispositif de référence et du spécimen doivent être mesurées à l'aide d'une instrumentation, avec une précision de $\pm 1^\circ\text{C}$ et une répétabilité de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Si la température du dispositif de référence diffère de plus de 2°C de la température pour laquelle il a été étalonné, la valeur d'étalonnage doit être corrigée pour tenir compte de la température mesurée. Si le dispositif de référence est un pyranomètre, la mesure de la température et la correction de température de son signal de sortie ne sont pas requises.
- c) La surface active du spécimen doit être coplanaire dans une limite de $\pm 2^\circ$ avec la surface active du dispositif de référence.
- d) Les tensions et les courants doivent être mesurés à l'aide d'une instrumentation avec une précision de $\pm 0,2\%$ de la tension en circuit ouvert et du courant de court-circuit, en utilisant des fils indépendants à partir des bornes du spécimen et en les maintenant aussi courts que possible. Il convient de choisir soigneusement les plages de mesure de l'acquisition de données. Si le spécimen d'essai est un module, il convient que la connexion à 4 fils commence au niveau des bornes ou des connecteurs. Si le spécimen d'essai est une cellule, il convient que la connexion à 4 fils commence au niveau des jeux de barres des cellules.

NOTE Il convient d'évaluer soigneusement la méthode de connexion pour les cellules. Des différences peuvent se produire si des languettes soudées sont utilisées comme sonde ou si des méthodes avec des connexions non soudées sont mises en œuvre, telles que des barres avec des ressorts de contact ou des plateaux conducteurs ayant un contact sur une grande zone avec le contact au dos de la cellule. Les méthodes avec des connexions non soudées peuvent entraîner des coefficients de remplissage plus élevés que ceux qui sont observés dans le module. Il convient que la méthode de contact soit appropriée à l'utilisation prévue de la cellule ou de la mesure.

- e) Le courant de court-circuit doit être mesuré pour une tension nulle en utilisant une tension variable (de préférence électronique) pour compenser la chute de tension apparaissant aux bornes de la résistance en série externe. En variante, le courant de court-circuit peut être extrapolé à partir des caractéristiques courant-tension. La courbe est extrapolée à la tension nulle, à condition que la chute de tension ne soit pas supérieure à 3 % de la tension en circuit ouvert du dispositif et qu'il y ait une relation linéaire entre le courant et la tension.
- f) La précision de la procédure pour la correction de l'éclairement et de la température conformément à la CEI 60891 doit être vérifiée périodiquement en mesurant les performances d'un spécimen à des niveaux choisis d'éclairement et de température, et en comparant les résultats avec les valeurs extrapolées correspondantes, comme dans la CEI 60904-10.

NOTE Si la correction de la température et de l'éclairement est réalisée sur des plages étendues, les paramètres de correction du module peuvent affecter considérablement le résultat d'essai. Il convient de veiller à la pertinence des paramètres de module utilisés. En particulier, la résistance en série ne peut pas être généralisée à un lot de spécimens du même type.

Lors de la mesure de dispositifs PV qui ne sont pas stables, il faut prendre des précautions dans le choix d'une réponse spectrale représentative.

3 General measurement requirements

- a) The irradiance measurements shall be made using a PV reference device packaged and calibrated in conformance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6 or a pyranometer. The PV reference device shall either be spectrally matched to the test specimen, or a spectral mismatch correction shall be performed in conformance with IEC 60904-7. The reference device shall be linear in short-circuit current as defined in IEC 60904-10 over the irradiance range of interest.

NOTE To be considered spectrally matched, a reference device must be constructed using the same cell technology and encapsulation package as the test device. If this is not the case, the spectral mismatch must be reported.

- b) The temperature of the reference device and the specimen shall be measured using instrumentation with an accuracy of ± 1 °C with repeatability of $\pm 0,5$ °C. If the temperature of the reference device differs by more than 2 °C from the temperature at which it was calibrated, the calibration value shall be adjusted to the measured temperature. If the reference device is a pyranometer, temperature measurement and temperature correction of its output signal are not required.
- c) The active surface of the specimen shall be coplanar within $\pm 2^\circ$ with the active surface of the reference device.
- d) Voltages and currents shall be measured using instrumentation with an accuracy of $\pm 0,2$ % of the open-circuit voltage and short-circuit current using independent leads from the terminals of the specimen and keeping them as short as possible. The measurement ranges of the data acquisition should be carefully chosen. If the test specimen is a module, the 4-wire connection should start at the terminals or connectors. If the test specimen is a cell, the 4-wire connection should start at the cell bus bars.

NOTE The connection method for cells should be carefully evaluated. Differences may occur if soldered tabs are used as probe or non-soldered methods are implemented such as bars having contact springs or conductive plates having a large-area contact with the cell back contact. Non-soldered methods can result in higher fill factors than are observed in the module. The contacting method should be appropriate to the intended use of the cell or of the measurement.

- e) The short-circuit current shall be measured at zero voltage, using a variable bias (preferably electronic) to offset the voltage drop across the external series resistance. Alternatively, short circuit current may be extrapolated from the current-voltage characteristic. The curve is extrapolated to zero voltage provided that voltage drop is not higher than 3 % of the device open-circuit voltage and that there is a linear relationship between current and voltage.
- f) The accuracy of the procedure for irradiance and temperature correction in conformance with IEC 60891 shall be verified periodically by measuring the performance of a specimen at selected irradiance and temperature levels and comparing the results with corresponding extrapolated data as in IEC 60904-10.

NOTE If temperature and irradiance correction is performed across wide ranges module correction parameters can considerably affect the test result. Care should be taken regarding the relevance of the module parameters used. In particular series resistance cannot be generalized to a batch of specimens of the same type.

In measuring PV devices which are non stable, care must be taken in selecting a representative spectral response.

4 Matériel

4.1 Pour les mesures sous éclairement solaire naturel

En plus des exigences générales de mesures de l'Article 3, l'équipement suivant est nécessaire pour effectuer des mesures de la caractéristique I-V sous éclairement solaire naturel:

- a) Un dispositif PV de référence ou un pyranomètre satisfaisant aux conditions indiquées au point a) de l'Article 3.
- b) Des dispositifs pour mesurer la température du dispositif de référence satisfaisant aux conditions indiquées au point b) de l'Article 3, si nécessaire.
- c) Un équipement pour déterminer la température du dispositif d'essai à l'aide de la méthode de la température de cellule équivalente (ECT; en anglais, *Equivalent Cell Temperature*) spécifiée dans la CEI 60904-5, ou d'autres dispositifs pour mesurer la température du dispositif d'essai, comme indiqué au point b) de l'Article 3.
- d) Un système de suivi à deux axes, capable de suivre la trajectoire du soleil, avec une précision de $\pm 5^\circ$.
- e) Un spectroradiomètre capable de mesurer l'éclairement spectral de la lumière solaire dans la plage de la réponse spectrale du spécimen d'essai et du dispositif de référence, si des corrections spectrales sont nécessaires, comme défini au point a) de l'Article 3.

4.2 Pour les mesures sous éclairement solaire simulé

En plus des exigences générales de mesures de l'Article 3, l'équipement suivant est nécessaire pour effectuer des mesures de la caractéristique I-V sous éclairement solaire simulé:

- a) Un dispositif PV de référence qui est bien adapté au dispositif d'essai sur les plages d'éclairement, de répartitions spectrales et de températures concernées et qui satisfait aux conditions indiquées au point a) de l'Article 3.
- b) Des dispositifs pour mesurer la température du dispositif de référence et du spécimen d'essai, satisfaisant aux conditions indiquées au point b) de l'Article 3.
- c) Un simulateur solaire de classe BBB ou supérieure, conformément à la CEI 60904-9. La surface d'essai désignée doit être supérieure ou égale à la surface couverte par le spécimen d'essai.
- d) Un capteur d'éclairement qui suit la trajectoire de l'éclairement instantané dans le plan d'essai. Il convient que ce capteur d'éclairement soit linéaire dans la plage des éclairements sur laquelle les mesures sont prises (voir la CEI 60904-10).
- e) Un spectroradiomètre capable de mesurer l'éclairement spectral du simulateur dans la plage de la réponse spectrale du spécimen d'essai et du dispositif de référence, si des corrections spectrales sont nécessaires, comme défini au point a) de l'Article 3.

NOTE Il convient de prendre des précautions lors de l'utilisation d'une lampe d'émission comme une lampe au xénon pour les essais de cellules à largeur de bande directe. Dans la mesure où la largeur de bande varie en raison de la température, elle peut traverser diverses lignes d'émission dans le spectre de lampe et donner lieu à des décalages importants de performance.

5 Mesures sous éclairement solaire naturel

Les mesures sous éclairement solaire naturel doivent être faites seulement lorsque l'éclairement solaire global ne fluctue pas de plus de $\pm 1\%$ pendant la mesure. Quand les mesures doivent servir de référence aux conditions normales d'essai (STC; en anglais *Standard Test Conditions*), l'éclairement doit être d'au moins $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

4 Apparatus

4.1 For measurements in natural sunlight

In addition to the general measurement requirements of Clause 3 the following equipment is required to perform I-V characteristic measurements in natural sunlight:

- a) A PV reference device or pyranometer that meets the conditions stated in item a) of Clause 3.
- b) Means for measuring temperature of the reference device that meets the conditions stated in item b) of Clause 3, if necessary.
- c) Equipment to determine the temperature of the test device using the Equivalent Cell Temperature (ECT) method specified in IEC 60904-5 or other means to measure the temperature of the test device as stated in item b) of Clause 3.
- d) A two-axis tracking system capable of tracking the sun to an accuracy of $\pm 5^\circ$.
- e) A spectroradiometer capable of measuring the spectral irradiance of the sunlight in the range of the spectral response of the test specimen and the reference device, if spectral corrections are needed as defined in item a) of Clause 3.

4.2 For measurements in simulated sunlight

In addition to the general measurement requirements of Clause 3 the following equipment is required to perform I-V characteristic measurements in simulated sunlight:

- a) A PV reference device that is well matched to the test device over the ranges of irradiances, spectral distributions and temperatures of interest and meets the conditions stated in item a) of Clause 3.
- b) Means for measuring the temperature of the reference device and the test specimen that meets the conditions stated in item b) of Clause 3.
- c) A Class BBB or better solar simulator in accordance with IEC 60904-9. The designated test area shall be equal to or greater than the area that is spanned by the test specimen.
- d) An irradiance sensor that tracks the instantaneous irradiance in the test plane. This irradiance sensor should be linear in the range of irradiances over which the measurements are taken (see IEC 60904-10).
- e) A spectroradiometer capable of measuring the spectral irradiance of the simulator in the range of the spectral response of the test specimen and the reference device, if spectral corrections are needed as defined in item a) of Clause 3.

NOTE Care should be taken in the use of an emission lamp such as Xenon for testing direct band gap cells. As the band gap changes due to temperature, it can pass through various emission lines in the lamp spectrum and give rise to large shifts in performance.

5 Measurements in natural sunlight

Measurements in natural sunlight shall be made only when global solar irradiance is not fluctuating by more than $\pm 1\%$ during a measurement. When the measurements are intended for reference to STC the irradiance shall be at least $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

La procédure d'essai est la suivante:

- 5.1 Monter le dispositif de référence aussi près que possible du spécimen et dans le même plan que le spécimen, sur le système de suivi à deux axes. Les deux éléments doivent être perpendiculaires au rayonnement solaire direct à $\pm 5^\circ$ près. Effectuer les connexions à l'instrumentation nécessaire.
 - 5.2 Si le spécimen et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de commande de la température, les dispositifs de commande doivent être ajustés au niveau désiré.
Si les dispositifs de commande de la température ne sont pas utilisés:
 - 5.2.1 masquer le spécimen et le dispositif de référence pour les protéger du rayonnement solaire et du vent jusqu'à ce que leur température atteigne celle de l'air ambiant à $\pm 2^\circ\text{C}$ ou
 - 5.2.2 permettre au spécimen d'essai de s'équilibrer jusqu'à stabilisation de sa température, ou
 - 5.2.3 préconditionner le spécimen d'essai jusqu'à un point en dessous de la température cible, puis laisser le module se réchauffer naturellement.
- NOTE Il peut y avoir des différences entre la température moyenne de la cellule et la température moyenne au dos de la cellule au cours de l'échauffement.
- 5.3 Relever la caractéristique courant-tension et la température du spécimen en même temps que l'émission et la température (si nécessaire) du dispositif de référence aux températures souhaitées. Si nécessaire, faire les mesures immédiatement après avoir enlevé le cache.
NOTE Dans la plupart des cas, l'inertie thermique du spécimen et du dispositif de référence limitera l'augmentation de température durant les toutes premières secondes à moins de 2°C . Leur température restera sensiblement uniforme.
 - 5.4 S'assurer que les températures du spécimen et du dispositif de référence sont stables et restent constantes à $\pm 1^\circ\text{C}$ et que l'éclairement mesuré par le dispositif de référence reste constant à $\pm 1\%$ près (fluctuations causées par les nuages, la brume ou la fumée) au cours de la période d'enregistrement pour chaque ensemble de données.
 - 5.5 Si un pyranomètre ou un dispositif de référence non adapté est utilisé comme dispositif de référence, effectuer une mesure simultanée d'éclairement spectral à l'aide du spectroradiomètre. Calculer l'éclairement efficace pour le spécimen avec le spectre AM1,5 (voir la CEI 60904-3), à l'aide de ses données de réponse spectrale (appliquer la CEI 60904-7).
NOTE Lorsqu'aucune donnée d'éclairement spectral n'est disponible, il convient de vérifier soigneusement l'adéquation entre le dispositif de référence et le spécimen et les conditions de masse d'air. Il convient d'effectuer les mesures lors d'une journée ensoleillée, avec un ciel dégagé (aucun nuage autour du soleil, contenu diffus d'éclairement solaire inférieur ou égal à 30 %).
 - 5.6 Corriger la caractéristique courant-tension mesurée en fonction des conditions d'éclairement et de température souhaitées, conformément à la CEI 60891 (pour les dispositifs linéaires). Pour les dispositifs non linéaires, se reporter à la CEI 60904-10, qui donne des lignes directrices pour déterminer au-dessus de quelle plage le dispositif peut être considéré comme linéaire.

6 Mesures sous éclairement solaire simulé continu

La simulation de l'éclairement solaire continu pour les mesures des performances photovoltaïques doit être conforme aux exigences de la CEI 60904-9. L'uniformité de la répartition de la lumière dans la surface d'essai doit être connue et vérifiée périodiquement. La précision de la mesure doit être vérifiée périodiquement par des mesures successives à la même condition d'essai. Trois méthodes pour l'étalonnage peuvent être appliquées. Si le dispositif en essai est de la même taille que le dispositif de référence, utiliser la méthode A. Si le dispositif en essai est plus grand que le dispositif de référence, utiliser la méthode B. Si le dispositif en essai est plus petit que le dispositif de référence, utiliser la méthode C.

NOTE La méthode A est la méthode préférentielle puisqu'elle réduit les effets de la non-uniformité de l'éclairement et des facteurs d'échelle dans les systèmes électroniques.

The test procedure is as follows:

- 5.1 Mount the reference device as near as possible to and co-planar with the specimen on the two-axis tracker. Both shall be normal to the direct solar beam within $\pm 5^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.
 - 5.2 If the specimen and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level.
If temperature controls are not used:
 - 5.2.1 shade the specimen and the reference device from the sun and wind until their temperature is uniform within $\pm 2^\circ\text{C}$ of the ambient air temperature, or
 - 5.2.2 allow the test specimen to equilibrate to its stabilized temperature, or
 - 5.2.3 pre-condition the test specimen to a point below the target temperature and then let the module warm up naturally.
- NOTE There may be differences between average cell temperature and average back temperature during warming up.
- 5.3 Record the current-voltage characteristic and temperature of the specimen concurrently with recording the output and temperature (if required) of the reference device at the desired temperatures. If necessary, make the measurements immediately after removing the shade.

NOTE In most cases the thermal inertia of the specimen and the reference device will limit the temperature rise during the first few seconds to less than 2°C . Their temperatures will remain reasonably uniform.
 - 5.4 Ensure that the specimen and reference device temperature are stable and remain constant within $\pm 1^\circ\text{C}$ and that the irradiance as measured by the reference device remains constant within $\pm 1\%$ (fluctuations caused by clouds, haze, or smoke) during the recording period for each data set.
 - 5.5 If a pyranometer or an unmatched reference device is used as reference device, perform a simultaneous measurement of spectral irradiance using the spectroradiometer. Calculate the effective irradiance for the specimen under the AM1,5 spectrum (see IEC 60904-3) using its spectral response data (apply IEC 60904-7).

NOTE When no spectral irradiance data are available the match of the reference device to the specimen and the air mass conditions should be checked carefully. Measurement should be performed on a clear sunny day (no observable clouds around the sun, diffuse contents of solar irradiance not higher than 30 %).
 - 5.6 Correct the measured current-voltage characteristic to the desired irradiance and temperature conditions in accordance with IEC 60891 (for linear devices). For non-linear devices refer to IEC 60904-10 for guidance in determining over what range the device can be considered to be linear.

6 Measurement in steady-state simulated sunlight

Steady-state sunlight simulation for photovoltaic performance measurements shall meet the requirements of IEC 60904-9. The uniformity of light distribution in the test area shall be known and periodically checked. The accuracy of the measurement shall be verified periodically by successive measurements at the same test condition. Three methods for calibration can be applied. If the device under test is the same size as the reference device, use method A. If the device under test is larger than the reference device, use method B. If the device under test is smaller than the reference device, use method C.

NOTE Method A is the preferred method as it minimises the effects of non-uniformity of irradiance and scale factors in the electronics.

- Méthode A: La conception du dispositif en essai doit être identique à celle du dispositif de référence en ce qui concerne les dimensions et les propriétés électriques. Pour les modules, cette exigence concerne le type de cellule et le circuit d'interconnexion des cellules. Le dispositif de référence et le dispositif en essai doivent être placés au même endroit dans la surface d'essai.
- Méthode B: La répartition de l'éclairement dans le plan d'essai peut ne pas être complètement uniforme. L'éclairement efficace est l'éclairement moyenné sur la surface active d'un dispositif. Pour un dispositif de référence plus petit que le dispositif d'essai, il convient de mesurer le dispositif de référence en différents endroits à l'intérieur de l'enveloppe du dispositif d'essai. Il convient d'utiliser une position qui produit la valeur moyenne des mesures du dispositif de référence pour le positionnement du dispositif de référence pour régler l'éclairement de 6.2.
- Méthode C: La répartition de l'éclairement dans le plan d'essai peut ne pas être complètement uniforme. L'éclairement efficace est l'éclairement moyenné sur la surface active d'un dispositif. Pour un dispositif de référence plus grand que le dispositif d'essai, il convient de mesurer le dispositif d'essai en différents endroits à l'intérieur de l'enveloppe du dispositif de référence. Il convient d'utiliser une position qui produit la valeur moyenne des mesures du dispositif d'essai pour le positionnement du dispositif d'essai au cours des essais suivants.

La procédure d'essai est la suivante:

- 6.1 Placer le dispositif de référence dans le plan d'essai avec sa surface active à $\pm 5^\circ$, perpendiculairement à l'axe du faisceau.
NOTE Il convient de veiller à ce que le plan d'essai du simulateur solaire soit qualifié conformément à la CEI 60904-9.
- 6.2 Régler l'éclairement du simulateur solaire de telle sorte que le dispositif de référence produise son courant de court-circuit étalonné ou une puissance maximale au niveau souhaité, en utilisant la méthode A, B ou C.
- 6.3 Retirer le dispositif de référence et placer le spécimen dans le plan d'essai, tel que décrit en 6.1.
- 6.4 Connecter le spécimen à l'instrumentation nécessaire.
NOTE Si le faisceau est suffisamment large et uniforme, le spécimen et le dispositif de référence peuvent être installés côte à côte.
- 6.5 Si le montage d'essai est équipé d'un dispositif de commande de température, régler le dispositif de commande au niveau souhaité. Si des dispositifs de commande de température ne sont pas utilisés, laisser le module d'essai et le dispositif de référence se stabiliser à $\pm 1^\circ\text{C}$ près de la température de l'air ambiant. Masquer le spécimen et/ou le dispositif pour les protéger du faisceau du simulateur jusqu'à ce que la température du dispositif soit uniforme et atteigne la température de l'air ambiant à $\pm 2^\circ\text{C}$ près.
- 6.6 Sans changer le réglage du simulateur, prendre simultanément des relevés de la caractéristique courant-tension et de la température du spécimen. Si le capteur d'éclairement est équipé, il convient de l'utiliser pour s'assurer que l'éclairement dans le plan d'essai est le même pour le dispositif d'essai qu'il l'était pour le dispositif de référence. Lorsqu'il n'est pas pratique de contrôler la température du spécimen, effectuer la mesure immédiatement après avoir enlevé le cache (voir la note applicable de 5.3).
- 6.7 Si la température du spécimen n'est pas la température désirée, corriger la caractéristique courant-tension mesurée à cette température en utilisant la procédure conforme à la CEI 60891 (pour les dispositifs linéaires). Pour les dispositifs non linéaires, se reporter à la CEI 60904-10, qui donne des lignes directrices pour déterminer au-dessus de quelle plage le dispositif peut être considéré comme linéaire.

- Method A: The design of the device under test shall be identical with the reference device with respect to dimensions and electrical properties. For modules, this requirement concerns the cell type and cell interconnection circuit. The reference device and the device under test shall be placed at the same position in the test area.
- Method B: The distribution of irradiance in the test plane may not be completely uniform. The effective irradiance is the averaged irradiance across a device's active area. For a reference device smaller than the test device, the reference device should be measured at different locations within the envelope of the test device. A position that yields the average value of the reference device measurements should be used for positioning the reference device for setting the irradiance in 6.2.
- Method C: The distribution of irradiance in the test plane may not be completely uniform. The effective irradiance is the averaged irradiance across a device's active area. For a reference device larger than the test device, the test device should be measured at different locations within the envelope of the reference device. A position that yields the average value of the test device measurements should be used for positioning the test device during subsequent tests.

The test procedure is as follows:

- 6.1 Place the reference device in the test plane with its active surface within $\pm 5^\circ$ normal to the centre line of the beam.
NOTE Care should be taken that the test plane of the solar simulator is qualified according to IEC 60904-9.
- 6.2 Set the irradiance of the solar simulator so that the reference device produces its calibrated short-circuit current or maximum power at the desired level using Method A, B or C.
- 6.3 Remove the reference device and place the specimen in the test plane as described in 6.1.
- 6.4 Connect the specimen to the necessary instrumentation.
NOTE If the beam is sufficiently wide and uniform the specimen can be placed beside the reference device.
- 6.5 If the test arrangement is equipped with temperature control, set the control at the desired level. If temperature controls are not used, allow the test module and reference device to stabilize within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the ambient air temperature. Shade the specimen and/or the device from the simulator beam until the device temperature is uniform within $\pm 2^\circ\text{C}$ at ambient air temperature.
- 6.6 Without changing the simulator setting, take simultaneously readings of the current-voltage characteristic and temperature of the specimen. If equipped the irradiance sensor should be used to assure that the irradiance in the test plane is the same for the test device as it was for the reference device. Where it is not practical to control the temperature of the specimen make the measurement immediately after removing the shade (see applicable note in 5.3).
- 6.7 If the temperature of the specimen is not the desired temperature, correct the measured current-voltage characteristic to this temperature using the procedure in accordance with IEC 60891 (for linear devices). For non-linear devices refer to IEC 60904-10 for guidance in determining over what range the device can be considered to be linear.

NOTE 1 Toute non-uniformité de l'éclairement incident sur le module peut affecter les caractéristiques I-V résultantes. Cet effet est influencé par: les diodes by-pass dans le circuit d'interconnexion du module, les caractéristiques I-V inverses du type de cellule et la répartition de l'éclairement dans la surface d'essai. Il convient d'analyser soigneusement et de prendre en compte les effets de la non-uniformité dans les analyses d'incertitude.

NOTE 2 Si un module est utilisé comme dispositif de référence, évaluer soigneusement si le courant de court-circuit ou la puissance maximale est le paramètre approprié pour régler le niveau d'éclairement du simulateur solaire. La méthode du courant de court-circuit est quasiment indépendante de la température du module et de la technique de connexion du module, mais peut introduire des erreurs en raison de l'éclairage non uniforme. La méthode de la puissance maximale peut compenser l'éclairage non uniforme, mais peut introduire des erreurs en raison de la température du module et de la technique de connexion du module. Les résultats les plus précis seront obtenus si le niveau d'éclairement est réglé pour produire le courant de court-circuit et la puissance de crête du module de référence.

NOTE 3 Si la répartition spatiale dans la surface d'essai est inconnue et si une cellule de référence est utilisée comme dispositif de référence, le résultat de mesure du dispositif en essai peut varier si la cellule de référence est repositionnée à l'intérieur de la surface d'essai. Par conséquent, il convient de déterminer l'emplacement optimal de la cellule de référence en choisissant une position d'éclairement moyen à l'intérieur de la surface d'essai du module. Cet effet peut être réduit en utilisant un module de référence étalonné de mêmes dimensions que le dispositif en essai.

NOTE 4 La tension en circuit ouvert ou le coefficient de remplissage peut être influencé(e) par la répartition de l'éclairement spectral de la source de lumière. Si nécessaire, il convient d'analyser cet effet par une comparaison avec les résultats de mesure enregistrés sous éclairement solaire naturel.

7 Mesure sous éclairement solaire simulé en impulsions

La simulation de l'éclairement solaire en impulsions pour les mesures des performances photovoltaïques doit être conforme aux exigences de la CEI 60904-9. L'uniformité de la répartition de la lumière dans la surface d'essai doit être connue et vérifiée périodiquement. La précision de la mesure doit être vérifiée périodiquement par des mesures successives aux mêmes conditions d'essais.

NOTE Deux types de simulateurs solaires en impulsions sont couramment utilisés: les systèmes à impulsions longues avec une longueur d'impulsion jusqu'à 1 s et une acquisition de la caractéristique I-V au cours d'un flash, et les systèmes à impulsions courtes utilisant des lampes de type stroboscopique de longueur d'impulsion <1 ms, en acquérant un point de données I-V par flash. L'utilisation de simulateurs solaires avec une impulsion courte peut ne pas être adaptée pour une mesure I-V précise des cellules solaires et des modules avec une capacité élevée.

Trois méthodes pour l'étalonnage peuvent être appliquées. Si le dispositif en essai est de la même taille que le dispositif de référence, utiliser la méthode A. Si le dispositif en essai est plus grand que le dispositif de référence, utiliser la méthode B. Si le dispositif en essai est plus petit que le dispositif de référence, utiliser la méthode C.

Méthode A: La conception du dispositif en essai doit être identique à celle du dispositif de référence en ce qui concerne les dimensions et les propriétés électriques. Pour les modules, cette exigence concerne le type de cellule et le circuit d'interconnexion des cellules. Le dispositif de référence et le dispositif en essai doivent être placés au même endroit dans la surface d'essai.

Méthode B: La répartition de l'éclairement dans le plan d'essai peut ne pas être complètement uniforme. L'éclairement efficace est l'éclairement moyenné sur la surface active d'un dispositif. Pour un dispositif de référence plus petit que le dispositif d'essai, il convient de mesurer le dispositif de référence en différents endroits à l'intérieur de l'enveloppe du dispositif d'essai. Il convient d'utiliser une position qui produit la valeur moyenne des mesures du dispositif de référence pour le positionnement du dispositif de référence pour régler l'éclairement de 7.2.

Méthode C: La répartition de l'éclairement dans le plan d'essai peut ne pas être complètement uniforme. L'éclairement efficace est l'éclairement moyenné sur la surface active d'un dispositif. Pour un dispositif de référence plus grand que le dispositif d'essai, il convient de mesurer le dispositif d'essai en différents endroits à l'intérieur de l'enveloppe du dispositif de référence. Il convient d'utiliser une position qui produit la valeur moyenne des mesures du dispositif d'essai pour le positionnement du dispositif d'essai au cours des essais suivants.