

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60904-2

Deuxième édition
Second edition
2007-03

Dispositifs photovoltaïques –

**Partie 2:
Exigences relatives aux dispositifs
solaires de référence**

Photovoltaic devices –

**Part 2:
Requirements for reference solar devices**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60904-2:2007

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

60904-2

Deuxième édition
Second edition
2007-03

Dispositifs photovoltaïques –

**Partie 2:
Exigences relatives aux dispositifs
solaires de référence**

Photovoltaic devices –

**Part 2:
Requirements for reference solar devices**

© IEC 2007 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 Varembe, 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

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	4
1 Domaine d'application et objet.....	8
2 Références normatives.....	8
3 Description	10
3.1 Traçabilité de l'étalonnage	10
3.1.1 Dispositif primaire de référence:.....	10
3.1.2 Dispositif secondaire de référence:.....	10
3.1.3 Dispositif de travail de référence:	10
3.2 Construction des dispositifs de référence	10
3.2.1 Cellule de référence	10
3.2.2 Dispositifs à multicellules de référence.....	12
3.3 Résistances de shuntage intégrées	12
4 Sélection	14
4.1 Exigences, généralités	14
4.2 Exigences supplémentaires pour les modules de référence.....	14
5 Mesure de la température.....	14
6 Connexions électriques	14
7 Etalonnage.....	14
8 Fiche technique.....	16
9 Marquage.....	18
10 Conditionnement	18
10.1 Conditionnement recommandé pour l'utilisation en éclairage naturel.....	18
10.2 Conditionnement recommandé pour l'utilisation avec simulateurs.....	18
10.3 Boîtier pour cellule individuelle.....	18
11 Précautions relatives aux dispositifs de référence	20
12 Etalonnage des dispositifs secondaires de référence par rapport à une cellule primaire de référence	20
12.1 Eclairage naturel.....	20
12.2 Eclairage simulé.....	22
12.3 Procédure d'essai	22
13 Etalonnage du dispositif solaire de travail de référence par rapport à un dispositif solaire secondaire de référence.....	24
Figure 1 – Boîtier d'une multicellule de référence cellule	24
Figure 2 – Boîtier d'une cellule individuelle	24

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	9
2 Normative references	9
3 Description	11
3.1 Calibration traceability.....	11
3.1.1 Primary reference device:.....	11
3.1.2 Secondary reference device:	11
3.1.3 Working reference device:	11
3.2 Construction of reference devices	11
3.2.1 Reference cell	11
3.2.2 Multi-cell reference devices	13
3.3 Built-in shunt resistors.....	13
4 Selection	15
4.1 Requirements, general	15
4.2 Additional requirements for reference modules.....	15
5 Temperature measurement.....	15
6 Electrical connections.....	15
7 Calibration.....	15
8 Data sheet.....	17
9 Marking	19
10 Packaging	19
10.1 Recommended packaging for use in natural sunlight.....	19
10.2 Recommended packaging for use under simulators.....	19
10.3 Single cell package	19
11 Care of reference devices.....	21
12 Calibration of secondary reference devices against a primary reference cell	21
12.1 Natural sunlight.....	21
12.2 Simulated sunlight.....	23
12.3 Test Procedure.....	23
13 Calibration of Working Solar Reference Device against a Secondary Solar Reference Device.....	25
Figure 1 – Reference cell in a multi-cell package	25
Figure 2 – Single-cell package.....	25

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2: Exigences relatives aux dispositifs solaires de référence

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 60904-2 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 de la CEI 60904-2 (1989), son amendement 1 (1998) ainsi que la CEI 60904-6 (1994) et son amendement 1 (1998), dont elle constitue une révision technique.

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

- Ajout d'un paragraphe sur la «Traçabilité de l'étalonnage».
- Ajout d'un paragraphe sur la «Construction» pour différencier les différents types de dispositifs de référence.
- Ajout de conseils sur l'utilisation d'une résistance de shuntage intégrée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 2: Requirements for reference solar devices

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 60904-2 has been prepared by IEC Technical Committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces IEC 60904-2 (1989), its Amendment 1 (1998) and IEC 60904-6 (1994) and its Amendment 1 (1998). It constitutes a technical revision.

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

- Added subclause on "Calibration traceability".
- Added subclause on "Construction" to differentiate the various types of reference devices.
- Added guidance on use of a built-in shunt resistor.

- Augmentation des exigences relatives à la fiche technique. En particulier ajout d'exigences pour une correction de décalage ou une estimation de l'incertitude due au décalage du dispositif de référence.
- Ajout d'un article sur «l'Étalonnage des dispositifs solaires de travail de référence».

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
82/425/CDV	82/465/RVC

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.

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.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2007

Without Norm

- Increased data sheet requirements. In particular added requirement for either a mismatch correction or an estimate of uncertainty due to the mismatch of the reference device.
- Added Clause on “Calibration of working solar reference devices”.

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

CDV	Report on voting
82/425/CDV	82/465/RVC

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.

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.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2007

Withdrawn

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2: Exigences relatives aux dispositifs solaires de référence

1 Domaine d'application et objet

Cette partie de la CEI 60904 donne les exigences relatives à la classification, à la sélection, au conditionnement, au marquage, à l'étalonnage et aux précautions d'utilisation des dispositifs solaires de référence.

La présente norme couvre les dispositifs solaires de référence utilisés pour déterminer les performances électriques des cellules, modules et panneaux solaires sous éclairage naturel et simulé. Elle ne couvre pas les dispositifs solaires de référence pour une utilisation sous éclairage concentré.

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 60904-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1: Mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

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

CEI 60904-8, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 8: Mesure de la réponse spectrale d'un dispositif photovoltaïque (PV)*

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*

CEI 61215, *Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

CEI 61646, *Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 2: Requirements for reference solar devices

1 Scope and object

This part of IEC 60904 gives requirements for the classification, selection, packaging, marking, calibration and care of reference solar devices.

This standard covers solar reference devices used to determine the electrical performance of solar cells, modules and arrays under natural and simulated sunlight. It does not cover solar reference devices for use under concentrated sunlight.

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 devices*

IEC 60904-1, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics*

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

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

IEC 60904-8, *Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device*

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

IEC 60904-10, *Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement*

IEC 61215, *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61646, *Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

3 Description

Les dispositifs solaires de référence sont des dispositifs étalonnés, spécialement utilisés pour mesurer l'éclairement naturel ou simulé ou pour régler les niveaux d'éclairement du simulateur pour mesurer les performances d'autres dispositifs solaires ayant une réponse spectrale, des caractéristiques optiques, des dimensions et des circuits électriques similaires.

3.1 Traçabilité de l'étalonnage

De tels dispositifs de référence se distinguent par leur position dans une chaîne de traçabilité de l'étalonnage comme suit:

3.1.1 Dispositif primaire de référence

Dispositif de référence dont l'étalonnage est basé sur un radiomètre ou un détecteur type ou un éclairage type traçable en unités SI.

3.1.2 Dispositif secondaire de référence

Dispositif de référence étalonné en éclairage solaire naturel ou simulé par rapport à un dispositif primaire de référence.

3.1.3 Dispositif de travail de référence

Dispositif de référence étalonné en éclairage solaire naturel ou simulé par rapport à un dispositif secondaire de référence.

3.2 Construction des dispositifs de référence

Suivant leur utilisation prévue, les dispositifs de référence nécessitent de répondre à des exigences différentes en termes de construction mécanique, de propriétés optiques et de circuit électrique. Les types suivants sont utilisés.

3.2.1 Cellule de référence

Une cellule de référence est utilisée essentiellement pour fournir des valeurs d'étalonnage. Pour des raisons pratiques, de telles cellules ont de petites surfaces, et sont montées sur un support qui assure la reproductibilité du montage, de la commande thermique et des connexions électriques. Un exemple type est esquissé en Figure 1.

Utilisation recommandée: référence primaire et secondaire de laboratoire.

3.2.1.1 Cellule de référence avec couvercle de protection sans encapsulant

Une cellule de référence similaire à 3.2.1, mais fournie avec un couvercle de protection.

Utilisation recommandée: comme référence de travail, primaire et secondaire de laboratoire, en particulier lorsque l'étalonnage utilise des simulateurs solaires ou lorsque l'étalonnage se déroule à l'extérieur avec un rayonnement direct seulement.

3.2.1.2 Cellule de référence encapsulée

Une cellule de référence similaire à 3.2.1, mais encapsulée dans un assemblage de protection permettant de résister à une exposition extérieure de court terme.

3 Description

Reference solar devices are specially calibrated devices which are used to measure natural or simulated irradiance or to set simulator irradiance levels for measuring the performance of other solar devices having similar spectral response, optical characteristics, dimensions and electrical circuitry.

3.1 Calibration traceability

Such reference devices are distinguished by their position in a chain of calibration traceability as follows:

3.1.1 Primary reference device

A reference device whose calibration is based on a radiometer or standard detector or standard light source traceable to SI units.

3.1.2 Secondary reference device

A reference device calibrated in natural or simulated sunlight against a primary reference device.

3.1.3 Working reference device

A reference device calibrated in natural or simulated sunlight against a secondary reference device.

3.2 Construction of reference devices

Depending on their intended use, reference devices need to meet different requirements in terms of their mechanical construction, optical properties and electrical circuit. The following types are in use.

3.2.1 Reference cell

A reference cell is used primarily for transfer of calibration values. For practical reasons, such cells are small in surface area, and mounted on a fixture which ensures reproducibility in mounting, thermal control and electrical connections. A typical sample is sketched in Figure 1.

Recommended use: laboratory primary and secondary reference.

3.2.1.1 Reference cell with protective cover without encapsulant

A reference cell similar to 3.2.1, but provided with a protective cover.

Recommended use: as a laboratory primary, secondary and working reference, in particular when calibrating using solar simulators or when calibrating outdoors with direct beam only.

3.2.1.2 Encapsulated reference cell

A reference cell similar to 3.2.1, but encapsulated in a protective assembly so as to withstand short-term outdoor exposure.

Utilisation recommandée: comme référence de travail, primaire et secondaire de laboratoire, en particulier lorsque l'étalonnage est réalisé en éclairage naturel. Si le système d'encapsulation a été testé pour résister à une exposition extérieure à long terme, en appliquant les niveaux d'essai de la CEI 61215, de telles cellules de référence peuvent aussi être utilisées comme dispositifs de surveillance pour une évaluation à long terme du fonctionnement de panneaux photovoltaïques.

3.2.2 Dispositifs à multicellules de référence

Un dispositif de référence disposant de caractéristiques optiques et mécaniques équivalentes à un spécimen d'essai, et ayant la même réponse face aux variations dans l'espace du rayonnement incident que les spécimens d'essai.

Utilisation recommandée: comme le composant diffus de l'éclairage naturel et le rayon incident non perpendiculaire de l'éclairage solaire simulé entrent en interaction avec les encapsulants et les plaques arrières d'un module et influencent la quantité d'irradiation que reçoit une cellule particulière, il est recommandé que les dispositifs de référence utilisés pour mesurer les sous-ensembles de modules et de panneaux soient encapsulés dans un boîtier multicellules, simulant les paramètres optiques voisins du spécimen d'essai (module, sous-ensembles de modules, panneaux) et la réflectivité du couvercle avant.

3.2.2.1 Cellule de référence dans un boîtier multicellules

Dans un tel boîtier, l'encadrement, le système d'encapsulation, la forme, les dimensions et l'espacement des cellules entourant la cellule de référence doivent être les mêmes que dans la multicellule en essai. Les cellules environnantes peuvent être réelles ou factices mais ayant les mêmes propriétés optiques. La ligne, en pointillés de la Figure 1 indique, les dimensions minimales acceptables du boîtier multicellule pour un essai en extérieur.

3.2.2.2 Module de référence constitué d'une encapsulation de cellules solaires connectées en parallèle et/ou en série

L'utilisation d'un module de référence de grande taille est recommandée pour mesurer d'autres modules afin d'obtenir une correspondance des dimensions, de la construction mécanique, des propriétés optiques et des circuits électriques du module de référence et du spécimen d'essai, et ainsi minimiser les divergences dues à la non-uniformité du simulateur, les réflexions internes ou de la répartition de la température.

3.3 Résistances de shuntage intégrées

Pour des raisons pratiques, les dispositifs de référence peuvent être shuntés par une résistance de précision, afin d'éviter des moyens fournis par l'utilisateur pour établir une condition de court-circuit. Dans de tels cas, il convient que la résistance de précision soit choisie de telle façon que le dispositif de référence fonctionne suffisamment près de la condition de court-circuit, en satisfaisant à l'exigence:

$$I_{SC} \times R_{CAL} < 0,03 \times V_{OC}$$

où

R_{CAL} est la résistance de shuntage de précision;

I_{SC} est le courant de court-circuit du dispositif de référence aux conditions de référence;

V_{OC} est la tension en circuit ouvert aux conditions de référence.

La stabilité à long terme d'une telle résistance doit également satisfaire aux exigences de stabilité du dispositif de référence. Les valeurs d'étalonnage de tels dispositifs de référence doivent être indiquées avec les dimensions [$V \cdot W^{-1} \cdot m^2$], si l'étalonnage a été réalisé avec la chute de tension apparaissant aux bornes de la résistance de shuntage. Le coefficient de température de la résistance de shuntage intégrée est une partie du coefficient de température de la valeur d'étalonnage du dispositif de référence.

Recommended use: as a laboratory primary, secondary and working reference, in particular when calibration in natural sunlight is performed. If the encapsulation system has been demonstrated to withstand long-term outdoor exposure, applying test levels according to IEC 61215, such reference cells may also be used as a monitoring device for long-term assessment of operational photovoltaic arrays.

3.2.2 Multi-cell reference devices

A reference device matching the mechanical and optical features of a test specimen, and responds to variations in the geometrical distribution of the incident radiation in the same way as the test specimens.

Recommended use: as the diffuse component of natural sunlight and non-normal incidence of simulated sunlight interacts with encapsulants and back-sheets of a module and influences the amount of irradiation which a particular cell receives, it is recommended that reference devices used for measuring sub-assemblies of modules and arrays be encapsulated in a multi-cell package, simulating the neighbouring optical parameters of a the test specimen (module, sub-assemblies of modules, arrays) and reflectivity of the front cover.

3.2.2.1 Reference cell in a multi-cell package

In such packages, the frame, the encapsulation system, the shape, and the size and spacing of the cells surrounding the reference cell shall be the same as in the module to be tested. The surrounding cells may be real or dummies that have the same optical properties. The dotted line in Figure 1 indicates the minimum acceptable size of the multi-cell package for outdoor testing.

3.2.2.2 Reference module consisting of an encapsulation of a series and/or parallel connection of solar cells

The use of a full-size reference module is recommended in measuring other modules in order to achieve correspondence of dimensions, mechanical construction, optical properties and electrical circuitry of the reference module and test specimen, so as to minimize discrepancies due to simulator non-uniformity, internal reflections or temperature distribution.

3.3 Built-in shunt resistors

For practical reasons, reference devices may be shunted by a precision resistor, in order to avoid user-provided means of establishing short circuit condition. In such cases, the precision resistor should be chosen such as to ensure that the reference device operates sufficiently near to short-circuit condition, meeting the requirement:

$$I_{SC} \times R_{CAL} < 0,03 \times V_{OC}$$

where

R_{CAL} is the precision shunt resistor;

I_{SC} is the short circuit current of the reference device at reference conditions;

V_{OC} is the open circuit voltage at reference conditions.

The long-term stability of such resistors shall also meet the stability requirements of the reference device. Calibration values of such reference devices shall be stated with the dimension [$V \cdot W^{-1} \cdot m^2$], if the calibration has been performed on the voltage drop across the shunt resistor. The temperature coefficient of the built-in shunt resistor is part of the temperature coefficient of the calibration value of the reference device.

NOTE Il est recommandé que la résistance de shuntage soit une résistance amovible à 4 bornes, pour permettre un contrôle périodique de la stabilité du dispositif de référence en prenant une courbe I-V de la CEI 60904-1.

4 Sélection

4.1 Exigences, généralités

Un dispositif de référence doit répondre aux exigences suivantes:

- a) ses caractéristiques photovoltaïques doivent être stables (voir Article 9);
- b) le signal de sortie du dispositif de référence doit varier linéairement avec l'éclairement sur la gamme concernée, comme défini dans la CEI 60904-10.

4.2 Exigences supplémentaires pour les modules de référence

Les modules de référence doivent répondre aux exigences supplémentaires suivantes:

- a) il est recommandé qu'ils ne contiennent pas de diodes by-pass;
- b) s'ils sont constitués de cellules discrètes, elles doivent être équivalentes en courant de court-circuit et en facteur de remplissage à ± 2 % près.

5 Mesure de la température

Des moyens doivent être fournis pour déterminer la température de la cellule de référence ou, pour les modules de références, la température de cellule équivalente (ECT en anglais), selon la CEI 60904-5. L'incertitude exigée pour les mesures de température doit être inférieure à ± 2 °C pour tous les dispositifs de référence.

6 Connexions électriques

Les connexions électriques aux cellules de référence doivent être un système à contact à quatre bornes (montage de Kelvin). Il faut veiller à éviter des erreurs de mesure dues aux chutes de tension aux bornes de raccordement de la cellule et du câblage du boîtier.

Les connexions électriques du module de référence doivent être conçues pour satisfaire aux exigences de la CEI 60904-1 (Article 4).

7 Etalonnage

Chaque dispositif de référence doit être étalonné en termes de valeur d'étalonnage aux conditions normales d'essai (STC en anglais).

Une méthode d'étalonnage des dispositifs secondaires de référence est décrite à l'Article 13.

La réponse spectrale relative du courant de court-circuit de chaque dispositif de référence doit être mesurée conformément à la CEI 60904-8. Si pour des modules de référence, celle-ci ne peut être mesurée directement, elle doit être déduite des mesures réalisées sur des cellules solaires encapsulées représentatives.

Le coefficient de température de chaque dispositif de référence doit être mesuré conformément à la CEI 60891.

NOTE It is recommended that the shunt resistor be a removable 4-wire resistor, to allow for periodic checking of the reference device stability by taking an I-V curve per IEC 60904-1.

4 Selection

4.1 Requirements, general

A reference device shall meet the following requirements:

- a) its photovoltaic characteristics shall be stable (see Clause 9);
- b) the output signal of the reference device shall vary linearly with irradiance, as defined in IEC 60904-10, over the range of interest.

4.2 Additional requirements for reference modules

Reference modules shall meet the following, additional requirements:

- a) it should not contain bypass diodes;
- b) if it is made from discrete cells, they shall be matched in short-circuit current and fill-factor within ± 2 %.

5 Temperature measurement

Means shall be provided for determining the reference cell temperature or, for reference modules, the equivalent cell temperature (ECT), according to IEC 60904-5. The required uncertainty for temperature measurements shall be less than ± 2 °C for all reference devices.

6 Electrical connections

The electrical connections to reference cells shall consist of a four-wire contact system (Kelvin probe). Care shall be taken to avoid measurement errors due to voltage drops along the cell's contact bars and the package wiring.

The electrical connections to the reference module shall be designed to meet the requirements of IEC 60904-1 (Clause 4).

7 Calibration

Each reference device shall be calibrated in terms of its calibration value at standard test conditions (STC).

A method of calibrating secondary reference devices is described in Clause 13.

The relative spectral response of short-circuit current of each reference device shall be measured in accordance with IEC 60904-8. If for reference modules this cannot be measured directly, it shall be deduced from measurements made on representative encapsulated solar cells.

The temperature coefficient of each reference device shall be measured in accordance with IEC 60891.

8 Fiche technique

Chaque fois qu'un dispositif de référence est étalonné, les renseignements suivants doivent être indiqués sur une fiche technique:

- Numéro d'identification
- Type (cellule primaire de référence, dispositif secondaire de référence, dispositif de travail de référence)
- Fabricant de matériel
- Type de matériel
- Type d'emballage
- Type et dimensions des cellules
- Schéma de circuit, en particulier de tout connecteur
- Organisme ayant effectué l'étalonnage
- Lieu et date d'étalonnage
- Méthode d'étalonnage (référence à la norme)
- Radiomètre ou caractéristique de la lampe normalisée (si applicable)
- Identification de la cellule primaire de référence (si applicable)
- Caractéristiques du simulateur (si applicable)
- Type de la sonde de température (si applicable)
- Réponse spectrale relative
- Coefficient de température de la valeur d'étalonnage
- Valeur d'étalonnage aux conditions de référence
- Conditions de référence
- Incertitude estimée
- Résistance nominale de la résistance de shuntage et coefficient de température (si applicable)
- Soit la valeur de correction de décalage utilisée dans la mesure soit une estimation de l'incertitude introduite en utilisant le dispositif de référence non adapté.

Pour les cellules de référence sans connexion électrique fixe à la cellule, les renseignements suivants doivent être indiqués sur la fiche technique:

- Illustration du type, forme et emplacement des contacts électriques durant l'étalonnage

Pour les modules de référence, les renseignements suivants doivent être indiqués en plus sur la fiche technique:

- fabricant
- désignation du modèle
- numéro de série
- technologie de la cellule
- construction et dimensions du module
- schéma du circuit électrique

8 Data sheet

Each time a reference device is calibrated, the following information shall be recorded on a data sheet:

- Identification number
- Type (primary reference cell; secondary reference device, working reference device)
- Cell manufacturer
- Material type
- Type of package
- Type and dimension of cell(s)
- Circuit diagram, in particular of any connectors
- Calibration organization
- Site and date of calibration
- Method of calibration (refer to standard)
- Radiometer or standard lamp characteristics (where applicable)
- Primary reference cell identification (where applicable)
- Simulator characteristics (where applicable)
- Type of temperature sensor (where applicable)
- Relative spectral response
- Temperature coefficient of calibration value
- Calibration value at reference conditions
- Reference conditions
- Estimated uncertainty
- Shunt resistor nominal resistance and temperature coefficient (where applicable)
- Either the mismatch correction value used in the measurement or an estimate of the uncertainty introduced by using the mismatched reference device.

For reference cells without fixed electrical connection to the cell, the following information shall be recorded on the data sheet:

- Illustration of type, shape and location of electrical contacts during calibration

For reference modules, the following information shall be recorded in addition on the data sheet:

- manufacturer
- model designation
- serial number
- cell technology
- construction and dimensions of module
- electrical circuit layout

9 Marquage

Chaque cellule de référence doit porter un numéro d'identification clair et indélébile avec référence à la fiche technique correspondante.

10 Conditionnement

10.1 Conditionnement recommandé pour l'utilisation en éclairage naturel

Le dispositif de référence utilisé pour la mesure en éclairage naturel doit avoir la même réponse face aux variations dans l'espace du rayonnement incident que les spécimens d'essai (cellules, sous-ensembles de cellules, modules). Comme les encapsulants et les plaques arrières répondent à un composant diffus de l'éclairage naturel, il est recommandé que les cellules de référence utilisées pour mesurer les modules soient incluses dans un boîtier multicellules (voir Figure 1), simulant les paramètres optiques voisins d'un module.

Dans ce cas, l'encadrement, le système d'encapsulation, la forme, les dimensions et l'espacement des cellules entourant la cellule de référence doivent être les mêmes que dans la multicellule en essai. Les cellules environnantes peuvent être réelles ou factices mais ayant les mêmes propriétés optiques. La ligne, en pointillés de la figure 1 indique, les dimensions minimales acceptables du boîtier multicellule pour un essai en extérieur.

10.2 Conditionnement recommandé pour l'utilisation avec simulateurs

10.2.1 Dans certains simulateurs, il peut se produire des réflexions multiples de lumière en direction ou en provenance du spécimen en essai; il en résulte que l'éclairement dans le plan d'essai peut être différent selon que le spécimen d'essai est présent ou non.

10.2.2 Aussi, afin de mesurer avec précision l'éclairement lorsque le spécimen est en place, les cellules de référence utilisées dans ces simulateurs doivent être placées dans leur boîtier de la même manière que le spécimen en essai, de façon que les modifications d'éclairement dues à des réflexions multiples soient les mêmes pour la cellule de référence et le spécimen en essai.

Les cellules de référence utilisées pour les mesures dans des simulateurs conçus pour minimiser les erreurs dues à une réflexion multiple de la lumière peuvent être placées sous boîtier individuel ou, si elles ne sont pas prévues pour une utilisation continue peuvent être fixées sans être protégées sur un bloc dont la température est contrôlée.

Par ailleurs, les exigences indiquées pour les cellules de référence utilisées en éclairage naturel peuvent être éventuellement suivies.

10.3 Boîtier pour cellule individuelle

Si un boîtier pour cellule individuelle est utilisé, les recommandations suivantes sont à prendre en compte:

10.3.1 Il convient que l'angle d'ouverture soit d'au moins 160°.

10.3.2 Il convient que toutes les surfaces du boîtier comprises dans le champ de vision de la cellule soient, normalement, non réfléchissantes et aient un coefficient d'absorption d'au moins 0,95 dans la gamme de longueurs d'onde de la réponse de la cellule.

10.3.3 Il convient que le matériel utilisé pour connecter la cellule au support ne soit pas sensible à une dégradation électrique ou optique. Il convient que ses caractéristiques physiques restent stables pendant toute la période durant laquelle il est prévu de l'utiliser.

9 Marking

The reference device shall carry a clear, indelible serial or identification number for cross-reference to its data sheet.

10 Packaging

10.1 Recommended packaging for use in natural sunlight

The reference device used for measurement in natural sunlight shall respond to variations in the geometrical distribution of the incident radiation in the same way as the test specimens (cells, sub-assemblies of cells, modules). As encapsulants and back-sheets respond to the diffuse component of natural sunlight, it is recommended that reference cells used for measuring modules be enclosed in a multi-cell package (see Figure 1), simulating the neighbouring optical parameters of a module.

In this case, the frame, the encapsulation system, the shape, and the size and spacing of the cells surrounding the reference cell shall be the same as in the module to be tested. The surrounding cells may be real or dummies that have the same optical properties. The dotted line in Figure 1 indicates the minimum acceptable size of the multi-cell package for outdoor testing.

10.2 Recommended packaging for use under simulators

10.2.1 In some simulators which allow multiple reflections of light to and from the test specimen, the irradiance in the test plane may change depending on whether or not the test specimen is present.

10.2.2 Therefore, in order to measure accurately the irradiance that will be present when the test specimen is in place, the reference cells used in such simulators shall be packaged in the same way as the test specimen, so that the change in irradiance due to multiple reflections is the same for both the reference cell and the test specimen.

Reference cells used for measurements in simulators designed to minimize any error from multi-reflected light may be packaged singly or, if not intended for day-to-day use, mounted in the unpackaged state on a temperature controlled block.

Alternatively, the requirements given for reference cells for use in natural sunlight may be followed.

10.3 Single cell package

If a single cell package is used, the following recommendations are made:

10.3.1 The field of view should be at least 160°.

10.3.2 All surfaces in the package within the cell's field of view should be non-reflective, with an absorption of at least 0,95 in the cell's wavelength response band.

10.3.3 The material used for bonding the cell to the holder should not be degraded electrically and optically. Its physical characteristics should remain stable over the entire period of intended use.

10.3.4 L'utilisation d'une protection transparente est recommandée. S'il convient que l'espace encapsulé entre la fenêtre et la cellule soit rempli avec un encapsulant transparent, stable, il est recommandé que l'indice de réfraction du matériau soit analogue (à 10 % près) à celui de la fenêtre pour réduire les erreurs dues à la réflexion interne de la lumière. Il est recommandé que la transparence, l'homogénéité et l'adhérence de l'encapsulant ne soient pas perturbées par les rayons ultraviolets et les températures de fonctionnement.

10.3.5 La protection transparente peut incorporer un filtre pour assortir la réponse spectrale de la cellule de référence à celle du spécimen d'essai, à condition que les autres exigences de 10.3.4 soient satisfaites.

La Figure 2 donne un exemple, de boîtier adapté pour une cellule individuelle. D'autres boîtiers adaptés pour une cellule individuelle peuvent être trouvés dans le JIS C8910 et C8911 ou dans le *World Photovoltaic Scale* avec pour référence C.R. Osterwald, S. Anevsky, K. Bücher, A.K. Barua, P. Chaudhuri, J. Dubard, K. Emery, B. Hansen, D. King, J. Metzdorf, F. Nagamine, R. Shimokawa, Y.X. Wang, T. Witchen, W. Zaaiman, A. Zastrow, et J. Zhang, "The World Photovoltaic Scale" (Un programme international d'étalonnage de cellules de référence), *Progress in Photovoltaics Research and Applications*, vol. 7, pp 287-297, 1999.

11 Précautions relatives aux dispositifs de référence

Il est recommandé que les dispositifs de référence soient ré-étalonnés sur une base annuelle.

La fenêtre d'un dispositif de référence sous boîtier doit être maintenue propre et sans rayure.

Les cellules de référence non recouvertes doivent être protégées des chocs, des contaminations et des dégradations.

Un dispositif de référence montrant un moindre défaut qui pourrait affaiblir ses fonctions ne doit pas être utilisé.

Si la valeur d'étalonnage d'un dispositif de référence a changé de plus de 5 % par rapport à l'étalonnage initial, celui-ci ne doit pas être utilisé comme dispositif de référence.

12 Etalonnage des dispositifs secondaires de référence par rapport à une cellule primaire de référence

Cet article décrit une procédure pour l'étalonnage d'un dispositif secondaire de référence en éclairage solaire naturel ou simulé par rapport à une cellule primaire de référence dont l'étalonnage est traçable en unités SI. La superposition de la réponse en fonction du spectre de la cellule primaire de référence et du dispositif secondaire de référence sous l'éclairement utilisé pour l'étalonnage doit être déterminée au moyen de la procédure donnée dans la CEI 60904-7. Si la correction du décalage du spectre est inférieure à 1 %, la correction du décalage peut être omise.

La procédure peut être appliquée en utilisant à la fois l'éclairage naturel et simulé selon la CEI 60904-1 avec les restrictions suivantes.

12.1 Eclairage naturel

L'étalonnage en éclairage naturel doit être effectué dans les conditions suivantes:

12.1.1 Temps clair, ensoleillé, avec un éclairement diffus ne dépassant pas 30 % de l'éclairement total.

12.1.2 Pas de formation de nuages observable.