



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Photovoltaic devices –

Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

Dispositifs photovoltaïques –

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope and object.....	5
2 Normative references	5
3 Measurement principles.....	6
4 Reference solar spectral irradiance distribution	6
Annex A (normative) Use of SMARTS	31
Figure 1 – Reference solar spectral irradiance distribution listed in Table 1	30
Table 1 – Reference solar spectral irradiance distribution	8

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

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 60904-3 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1989. This edition constitutes a technical revision.

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

- wavelength range extended deeper into the ultraviolet (280 nm instead of 305 nm);
- sunfacing surface considered;
- uniform wavelength intervals used (0,5 nm up to 400 nm, 1 nm up to 1 700 nm, 5 nm up to 4 000 nm); better resolution than in the first edition of 60904-3;
- more representative atmospheric conditions are considered;
- the model used to generate the spectrum has changed from BRITE to SMARTS (version 2.9), which is publicly available.

This is a preview of "IEC 60904-3 Ed. 2.0 ...". [Click here to purchase the full version from the ANSI store.](#)

In addition, the terminology annex has been removed in the new version because this part is included in another technical committee 82 document (second edition of IEC TS 61836). The titles of some clauses have been changed (others have been added) to accord with the usual structure of IEC standards.

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

FDIS	Report on voting
82/511/FDIS	82/519/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 the IEC 60904 series, published 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.

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

1 Scope and object

This part of IEC 60904 applies to the following photovoltaic devices for terrestrial applications:

- solar cells with or without a protective cover;
- sub-assemblies of solar cells;
- modules;
- systems.

NOTE The term “test specimen” is used to denote any of these devices.

The principles contained in this standard cover testing in both natural and simulated sunlight.

This standard is not applicable to solar cells designed for operation in concentrated sunlight or to modules embodying concentrators.

Photovoltaic conversion is spectrally selective due to the nature of the semiconductor materials used in PV solar cells and modules. To compare the relative performance of different PV devices and materials a reference standard solar spectral distribution is necessary. This standard includes such a reference solar spectral irradiance distribution.

This standard also describes basic measurement principles for determining the electrical output of PV devices. The principles given in this standard are designed to relate the performance rating of PV devices to a common reference terrestrial solar spectral irradiance distribution.

The reference terrestrial solar spectral irradiance distribution given in this standard is required in order to classify solar simulators according to the spectral performance requirements contained in IEC 60904-9.

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 60891:1987, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices*
Amendment 1 (1992)

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

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

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

3 Measurement principles

In current practice the photovoltaic performance of a solar cell or module is determined by exposing it at a known temperature to stable sunlight, natural or simulated, and measuring its current-voltage (I-V) characteristic curve while measuring the magnitude of both the incident irradiance and the PV device temperature. Detailed I-V curve measurement procedures are included in IEC 60904-1. The measured performances can then be corrected to Standard Test Conditions (STC) or other desired conditions of irradiance and temperature according to IEC 60891. The corrected power output at the rated voltage and STC is commonly referred to as the rated power.

Incident irradiance can be measured by means of a PV reference device (whose spectral response must be known) or, if measuring under natural sunlight, by means of a thermopile-type irradiance detector (pyranometer). If a PV reference device is used, it shall satisfy the requirements specified in IEC 60904-2. Temperature determination of the PV device under test shall be made according to IEC 60904-1.

Since a solar cell has a wavelength-dependent response, its performance is significantly affected by the spectral distribution of the incident radiation, which in natural sunlight varies with several factors such as location, weather, time of year, time of day, orientation of the receiving surface, etc., and with a simulator varies with its type and conditions of use. If the irradiance is measured either with a thermopile-type radiometer (that is not spectrally selective) or with a reference solar cell, the spectral irradiance distribution of the incoming light must be known in order to make the necessary corrections to obtain the performance of the PV device under the reference solar spectral distribution defined in this standard as specified in IEC 60904-7. It is also possible for a user or array designer, using the spectral response of the cells, to compute within a reasonable tolerance the performance of a PV device when exposed to light of any other known spectral irradiance distribution. The methodology for this calculation can be found in IEC 60904-7.

4 Reference solar spectral irradiance distribution

The reference solar spectral distribution AM1.5 is given in Table 1 and Figure 1. This is a total distribution (direct + diffuse) of sunlight, corresponding to an integrated irradiance of 1 000 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ incident on a sun-facing plane surface tilted at 37° to the horizontal considering the wavelength-dependent albedo of a light bare soil, under the following atmospheric conditions:

- U.S. Standard Atmosphere with CO₂ concentration increased to current level (370 ppm), a rural aerosol model, and no pollution;
- precipitable water: 1,4164 cm;
- ozone content: 0,3438 atm-cm (or 343,8 DU);
- turbidity (aerosol optical depth): 0,084 at 500 nm;
- pressure: 1013,25 hPa (i.e., sea level).

Data contained in Table 1 have been generated using the solar spectral model SMARTS, Version 2.9.2. A general description of this model and its suitability to reproduce actual solar spectral irradiance distributions can be found in "Proposed Reference Irradiance Spectra for Solar Energy Systems Testing" by C. A. Gueymard, C. Myers and K. Emery¹⁾, and in the references therein. Table 1 can be obtained using the data contained in Annex A as an input to the model SMARTS Version 2.9.2. The resulting output spectral irradiance values have to

1) C. A. Gueymard, C. Myers and K. Emery. "Proposed Reference Irradiance Spectra for Solar Energy Systems Testing". *Energie solaire*, Vol 73, No. 6, pp. 443-467, 2002.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	33
1 Domaine d'application et objet.....	35
2 Références normatives.....	35
3 Principes de mesure.....	36
4 Répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence.....	36
Annexe A (normative) Utilisation de SMARTS.....	61
Figure 1 – Répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence donnée dans le Tableau 1	60
Tableau 1 – Répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence	38

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral 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 60904-3 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 1989. Cette édition constitue une révision technique.

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

- la gamme de longueur d'onde s'est étendue plus profondément dans l'ultraviolet (280 nm au lieu de 305 nm);
- la surface éclairée par le soleil est considérée;
- des intervalles de longueurs d'onde uniformes sont utilisés (0,5 nm jusqu'à 400 nm, 1 nm jusqu'à 1 700 nm, 5 nm jusqu'à 4 000 nm); une meilleure résolution que dans la première édition de la CEI 60904-3;

This is a preview of "IEC 60904-3 Ed. 2.0 ...". [Click here to purchase the full version from the ANSI store.](#)

- des conditions atmosphériques plus représentatives sont considérées;
- le modèle utilisé pour générer le spectre est passé de BRITE à SMARTS (version 2.9), lequel est accessible au public.

De plus, l'annexe de terminologie a été enlevée dans la nouvelle version car cette partie est incluse dans un autre document du comité d'études 82 (deuxième édition de la CEI TS 61836). Les titres de quelques articles ont été changés (d'autres ont été ajoutés) suivant la structure habituelle des normes de la CEI.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/511/FDIS	82/519/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.

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

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

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60904 est applicable aux dispositifs photovoltaïques suivants pour les applications terrestres:

- cellules solaires avec ou sans protecteur;
- assemblages de cellules solaires;
- modules;
- système.

NOTE Le terme «spécimen en essai» est utilisé pour désigner chacun de ces dispositifs.

Les méthodes contenues dans la présente Norme comprennent les mesures effectuées sous éclairement solaire naturel ou simulé.

La présente norme n'est pas applicable aux cellules solaires conçues pour fonctionner en lumière solaire concentrée ou aux modules intégrant des concentrateurs.

La conversion photovoltaïque est spectralement sélective en raison de la nature des matériaux à semi-conducteurs utilisés dans les cellules solaires et les modules PV. Pour comparer la performance relative de différents dispositifs et matériaux PV, une répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence est nécessaire. La présente norme inclut une telle répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence.

La présente norme décrit également des principes de mesure pour la détermination de la sortie électrique des dispositifs PV. Les principes indiqués dans la présente Norme sont prévus pour relier les caractéristiques de performance des dispositifs PV à une répartition spectrale de l'éclairement solaire terrestre de référence commune.

La répartition spectrale de l'éclairement solaire terrestre de référence indiquée dans la présente norme est nécessaire pour classer les simulateurs solaires selon les exigences de performance spectrale contenues dans la CEI 60904-9.

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 60891:1987 *Procédures pour la correction en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*

Amendement 1 (1992)

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

CEI 60904-2, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences relatives aux dispositifs 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*

3 Principes de mesure

En pratique, les performances photovoltaïque d'une cellule ou d'un module solaire sont obtenues en l'exposant, sa température étant connue, à un rayonnement solaire stable, naturel ou simulé, et en mesurant sa courbe caractéristique courant-tension (I-V), tandis qu'on mesure à la fois l'amplitude de l'éclairement incident et la température du dispositif PV. Les procédures détaillées de mesure de la courbe I-V sont incluses dans la CEI 60904-1. Les performances mesurées peuvent alors être ramenées aux conditions normales d'essais (STC) ou à d'autres conditions souhaitées d'éclairement et de température conformément à la CEI 60891. La puissance de sortie corrigée à la tension assignée et aux STC est généralement désignée comme étant la puissance assignée.

L'éclairement incident peut être mesuré à l'aide d'un dispositif PV de référence (dont la réponse spectrale doit être connue) ou, si les mesures sont réalisées sous éclairage naturel, à l'aide d'un détecteur d'éclairement de type thermopile (pyranomètre). Si un dispositif PV de référence est utilisé, il doit satisfaire aux exigences spécifiées dans les CEI 60904-2. La détermination de la température du dispositif PV à l'essai doit être réalisée conformément à la CEI 60904-1.

Comme la réponse d'une cellule solaire est liée à la longueur d'onde, ses performances sont influencées de manière significative par la répartition spectrale du rayonnement incident, qui, dans le cas d'un éclairage solaire naturel, varie selon plusieurs facteurs tels que l'emplacement, le temps, le moment de l'année ou du jour, l'orientation de la surface de réception, etc., et qui, avec un simulateur, varie selon son type et les conditions d'utilisation. Si l'éclairement est mesuré avec un radiomètre à thermopile (qui n'est pas spectralement sélectif) ou avec une cellule solaire de référence, la répartition spectrale de l'éclairement de la lumière entrante doit être connue de façon à appliquer les corrections nécessaires pour obtenir les performances du dispositif PV avec la répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence définie dans cette Norme comme spécifié dans la CEI 60904-7. Il est également possible à un utilisateur ou à un concepteur de systèmes, connaissant la réponse spectrale des cellules, de calculer, avec une tolérance acceptable les performances d'un dispositif PV sous un éclairage de n'importe quelle autre répartition spectrale. La méthodologie pour ce calcul peut être trouvée dans la CEI 60904-7.

4 Répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence

La répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence AM1.5 est donnée dans le Tableau 1 et la Figure 1. C'est une répartition de l'éclairement solaire total (direct + diffus), correspondant à un éclairage de $1\ 000\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, sur une surface plane inclinée de 37° par rapport à l'horizontale, en considérant le facteur dépendant de la longueur d'onde d'un sol nu éclairé, dans les conditions atmosphériques suivantes:

- atmosphère type des Etats-Unis avec une concentration en CO_2 s'élevant jusqu'au niveau courant (370 ppm), un modèle d'aérosol rural, et sans pollution;
- eau précipitable: 1,4164 cm;
- teneur en ozone: 0,3438 atm-cm (ou 343,8 DU);
- turbidité (profondeur optique de l'aérosol): 0,084 à 500 nm;