
**Systèmes spatiaux — Cellules solaires
simple jonction — Méthodes de mesure
et d'étalonnage**

*Space systems — Single-junction solar cells — Measurements and
calibration procedures*

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



Numéro de référence
ISO 15387:2005(F)

© ISO 2005

PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

© ISO 2005

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives.....	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et termes abrégés	6
5 Principes de mesure des cellules solaires spatiales	7
5.1 Principes de mesure	7
5.2 Caractéristiques courant-tension.....	8
6 Exigences de base pour une cellule solaire étalon AM0	9
6.1 Généralités	9
6.2 Description.....	9
6.3 Sélection	9
6.4 Mesure de température.....	9
6.5 Connexions électriques.....	9
6.6 Étalonnage.....	9
6.7 Fiche technique	10
6.8 Marquage	10
6.9 Montage.....	10
6.10 Conservation des cellules solaires étalons AM0.....	13
6.11 Étalonnage des cellules solaires AM0	13
7 Exigences relatives à l'irradiance spectrale AM0	13
7.1 Généralités	13
7.2 Irradiance spectrale solaire de référence AM0	13
8 Étalonnage d'une cellule solaire étalon AM0	13
8.1 Généralités	13
8.2 Cellule solaire étalon AM0 hors atmosphère	15
8.3 Cellule solaire étalon AM0 simulée	15
8.4 Méthodes d'étalonnage d'une cellule solaire étalon AM0 hors atmosphère	15
8.5 Méthodes d'étalonnage au sol de cellule solaire étalon en AM0 simulée.....	28
9 Étalonnage de cellule solaire étalon AM0 secondaire	38
9.1 Généralités	38
9.2 Simulateur solaire	38
9.3 Lumière solaire au niveau du sol (le cas échéant)	38
9.4 Méthode d'étalonnage	38
Annexe A (normative) Mesure des caractéristiques courant-tension	40
Annexe B (normative) Calcul d'erreur de décalage spectral	44
Annexe C (informative) Méthodes de mesure de la réponse spectrale	46
Annexe D (normative) Méthodes de conversion de température et d'irradiance	51
Annexe E (normative) Analyse d'incertitude relative à l'étalonnage de cellule solaire étalon AM0	56
Annexe F (informative) Irradiance spectrale solaire AM0	61
Annexe G (normative) Exigences concernant les performances du simulateur solaire	69
Annexe H (normative) Méthode de mesure de l'irradiance spectrale	72
Annexe I (normative) Méthodes de mesure de la linéarité	79

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 15387 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 20, *Aéronautique et espace*, sous-comité SC 14, *Systèmes spatiaux, développement et mise en œuvre*.

Sample Document
get full document from standards.iteh.ai

Introduction

La présente Norme internationale obéit aux principes relatifs aux cellules solaires photovoltaïques, établis par la CEI/TC 82, *Systèmes à énergie solaire photovoltaïque*. Elle fournit des exigences et des méthodes spécifiques qui s'appliquent à l'utilisation des cellules solaires photovoltaïques hors atmosphère. Elle introduit le principe de la cellule air masse zéro qui sert d'étalon de référence en matière d'étalonnage primaire. Tout l'étalonnage ultérieur est ensuite comparé aux résultats obtenus avec ces cellules air masse zéro.

Les méthodes d'étalonnage des cellules solaires primaires sont décrites, ainsi que les méthodes de mesure correspondantes des cellules secondaires. Des méthodes d'étalonnage utilisant des techniques solaires hors atmosphère et des techniques solaires simulées sont données. Des essais comparatifs sont en préparation.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Systèmes spatiaux — Cellules solaires simple jonction — Méthodes de mesure et d'étalonnage

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les méthodes de mesure et d'étalonnage des cellules solaires spatiales simple jonction. Le contenu essentiel de la présente Norme internationale spécifie l'étalonnage des cellules solaires étalons air masse zéro (AM0), et les méthodes de mesure des cellules secondaires font l'objet des annexes.

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 de correction de l'irradiance et de la température pour les mesures des caractéristiques courant-tension (I-V) des dispositifs photovoltaïques (PV) en silicium monocristallin*

CEI 60904-1, *Mesure des caractéristiques courant-tension (I-V) des dispositifs photovoltaïques*

CEI 60904-2, *Exigences pour les cellules solaires de référence*

CEI 60904-3, *Principes de mesure des dispositifs photovoltaïques (PV) terrestres et données d'irradiance spectrale de référence*

CEI 60904-7, *Erreur due à la distribution spectrale dans les tests d'un dispositif photovoltaïque (PV)*

CEI 60904-8, *Guide pour la mesure de la réponse spectrale d'un dispositif photovoltaïque (PV)*

CEI 60904-9, *Exigences concernant les performances d'un simulateur solaire*

CEI 61798, *Méthodes de mesure de la linéarité*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

air masse

AM

longueur du trajet, dans l'atmosphère terrestre, du rayonnement solaire direct, exprimée en multiples du trajet du rayonnement solaire traversant perpendiculairement l'atmosphère jusqu'au niveau de la mer

NOTE La valeur air masse est 1 au niveau de la mer, par ciel clair sans nuage quand le soleil est à la verticale et que la pression de l'air $P = 1,013 \times 10^5$ Pa.

En tout point de la surface de la terre, la valeur air masse est donnée par

$$AM = (P/P_0) \times (1/\sin \theta)$$

où

P = pression locale de l'air, en pascals;

P_0 = $1,013 \times 10^5$, en pascals;

θ = angle d'élévation solaire, en degrés.

3.2

air masse zéro

AM0

irradiance solaire sans atténuation atmosphérique à une distance terre-soleil d'une unité astronomique

3.3

cellule solaire étalon AM0

cellule solaire utilisée pour mesurer l'irradiance ou pour régler l'irradiance d'un simulateur solaire aux valeurs de la distribution de l'irradiance spectrale solaire de référence air masse zéro (AM0)

3.4

température ambiante

T_{amb}

température de l'air autour de la cellule solaire, mesurée dans un lieu aéré et protégé des rayonnements provenant du soleil, du ciel et du sol

3.5

angle d'incidence

angle entre la direction du soleil et la perpendiculaire à la surface irradiée

3.6

unité astronomique

AU

unité de longueur égale au demi grand axe de l'orbite terrestre

NOTE 1 AU = 149 597 890 km $\pm$ 500 km

3.7

température cellule

T_j

température de la cellule correspondant à la température de l'air ambiant en l'absence d'éclairage de la cellule ou sous une impulsion lumineuse de courte durée (flash)

NOTE T_j n'est pas très différent de la température de la face de la cellule exposée.

3.8

coefficient de température du courant

α

variation du courant de court-circuit d'une cellule solaire en fonction du changement de la température cellule

NOTE α est exprimé en ampères par degré Celsius ($A \cdot ^\circ C^{-1}$).

3.9

rendement de conversion

«puissance électrique maximale de sortie d'un générateur photovoltaïque» divisée par «surface du générateur $\times$ irradiance incidente» mesurées dans des conditions d'essai définies, le rapport étant exprimé en pourcentage

3.10**caractéristiques courant-tension**

courant de sortie d'une cellule solaire en fonction de sa tension de sortie, à une température et une irradiance données

NOTE $I = f(V)$

3.11**facteur de forme****FF**

«puissance maximale» divisée par «tension en circuit ouvert × courant de court-circuit»

NOTE $FF = P_{\max} / (V_{oc} \times I_{sc})$

3.12**irradiance****éclairage énergétique**

puissance radiante incidente par unité de surface

NOTE L'irradiance est exprimée en watts par mètre carré ($W \cdot m^{-2}$).

3.13**irradiation**

intégration de l'irradiance sur une période de temps spécifiée

NOTE Elle est exprimée en mégajoules par mètre carré ($MJ \cdot m^{-2}$) par heure, jour, semaine, mois, ou année.

3.14**linéarité**

performance d'une cellule solaire par rapport

- à la variation de la pente de courant de court-circuit en fonction de l'irradiance,
- à la variation de la pente de tension de court-circuit en fonction du logarithme de l'irradiance,
- à la variation de la pente du courant de court-circuit et de la tension de court-circuit en fonction de la température de la cellule, et
- à la variation de la réponse spectrale relative pour une tension spécifiée

3.15**courant de charge** I_L

courant délivré par la cellule solaire, à une température et une irradiance données, sur un circuit de charge connecté à ses bornes

3.16**tension de charge** V_L

tension aux bornes d'un circuit de charge connecté aux bornes d'une cellule solaire à une température et une irradiance données

3.17**puissance de charge** P_L

puissance délivrée sur un circuit de charge connecté aux bornes de la cellule solaire dans des conditions de température et d'irradiance données

NOTE $P_L = V_L \times I_L$

3.18

puissance maximale

$P_{\max}$

puissance délivrée au point de la caractéristique courant-tension correspondant au produit «courant × tension» maximal à une température et une irradiance données

NOTE $P_{\max} = V_{\max} \times I_{\max}$

3.19

tension de puissance maximale

$V_{P_{\max}}$

tension correspondant à la puissance maximale à une température et une irradiance données

3.20

courant de puissance maximale

$I_{P_{\max}}$

courant correspondant à la puissance maximale à une température et une irradiance données

3.21

module

assemblage de cellules solaires interconnectées

3.22

tension de circuit ouvert

V_{oc}

tension aux bornes d'une cellule solaire sans charge à une température et une irradiance données

3.23

teneur en ozone

volume d'ozone à température et pression normales dans une colonne verticale d'atmosphère

NOTE La teneur en ozone est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre Dobson.

3.24

pyranomètre

radiomètre normalement utilisé pour mesurer l'irradiance solaire globale sur un plan horizontal

NOTE Un pyranomètre peut également être utilisé pour mesurer l'irradiance solaire globale sur un plan incliné et, dans ce cas, la mesure comprend la contribution du rayonnement réfléchi.

3.25

pyrhéliomètre

radiomètre complété par un collimateur, utilisé pour mesurer l'irradiance solaire directe

NOTE Un pyrhéliomètre est parfois appelé NIP, correspondant à pyrhéliomètre à incidence normale («normal incidence pyrheliometer»).

3.26

courant nominal

valeur de courant définie d'une cellule solaire à une tension nominale dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.27

puissance nominale

valeur de tension de sortie définie d'une cellule solaire à une tension nominale dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.28

tension nominale

valeur de tension définie dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.29**réponse spectrale relative** $S(\lambda)_{\text{rel}}$

réponse spectrale normalisée à l'unité, à la longueur d'onde de la réponse spectrale maximale

NOTE $S(\lambda)_{\text{rel}} = S(\lambda) / S(\lambda)_{\text{max}}$ **3.30****courant de court-circuit** I_{SC}

courant de sortie d'une cellule solaire en état de court-circuit à une température et une irradiance données

3.31**cellule solaire**

dispositif photovoltaïque de base qui génère de l'électricité quand il est exposé à la lumière solaire

3.32**constante solaire**

puissance solaire totale à toutes les longueurs d'onde, reçue sur une surface unitaire perpendiculaire au rayonnement solaire et située à une unité astronomique en conditions AM0

NOTE La moyenne des valeurs est de $1\,367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.**3.33****angle d'élévation solaire** θ

angle entre le rayon solaire direct et le plan horizontal

NOTE θ est exprimé en radians (rad).**3.34****irradiance spectrale** E_{λ}

irradiance par bande passante unitaire à une longueur d'onde donnée

NOTE E_{λ} est exprimé en watts mètres à la puissance moins deux mètres à la puissance moins six ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^{-6}$).**3.35****irradiance photonique spectrale** $E_{p\lambda}$

densité du flux photonique à une longueur d'onde donnée

NOTE $E_{p\lambda} = 5,035 \times 10^{14} \lambda \cdot E_{\lambda}$, où λ est exprimé en micromètres.**3.36****distribution d'irradiance spectrale**

irradiance spectrale enregistrée en fonction de la longueur d'onde

NOTE La distribution d'irradiance spectrale est exprimée en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^{-6}$.**3.37****réponse spectrale** $S(\lambda)$

densité de courant de court-circuit généré par irradiance unitaire à une longueur d'onde donnée en fonction de la longueur d'onde

NOTE $S(\lambda)$ est exprimé en ampères par watt ($\text{A} \cdot \text{W}^{-1}$).

3.38

conditions d'essai normales

STC

à une température de cellule de $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et à une constante solaire AM0, irradiance de $1\,367\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ mesurée avec une cellule solaire étalon AM0 en utilisant l'irradiance spectrale solaire hors atmosphère de référence AM0

NOTE Une température de cellule de 28 °C ne s'applique qu'à 8.4.1.

3.39

coefficient de température de la tension

β

variation de la tension de circuit ouvert d'une cellule solaire en fonction de la température

NOTE β est exprimé en volts par degré Celsius ($\text{V}\cdot\text{°C}^{-1}$).

4 Symboles et termes abrégés

AM	air-masse
AM0	air-masse zéro
AU	unité astronomique
α	coefficient de température du courant
β	coefficient de température de la tension
CAST	China Academy of Space Technology
CNES	Centre national d'études spatiales
DAQ	data acquisition system
ESA	Agence spatiale européenne
E_λ	irradiance spectrale
$E_{p\lambda}$	irradiance photonique spectrale
FF	facteur de forme
GMT	temps moyen de Greenwich
GPS	système de navigation par satellite
$I-V$	courant-tension
I_L	courant de charge
I_{Pmax}	courant de puissance maximale
I_{sc}	courant de court-circuit
INTA-Spasolab	Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial-Spasolab
JPL	Jet Propulsion Laboratory
NASA-GRC	National Aeronautics and Space Administration-Glen Research Center
NASDA	National Space Development Agency of Japan
NIP	pyrhéliomètre d'incidence normale
NSBF	National Scientific Balloon Facility in Palestine, Texas
P_L	puissance de charge
P_{max}	puissance maximale
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt

PV	photovoltaïque
RTD	sonde à résistance de platine
$S(\lambda)$	réponse spectrale
$S(\lambda)_{\text{rel}}$	réponse spectrale relative
STC	conditions d'essai normales
T_{amb}	température ambiante
T_j	température-cellule
TC	télécommande
TM	télémessure
θ	angle d'élévation solaire
V_L	tension de charge
V_{oc}	tension de circuit ouvert
V_{Pmax}	tension de puissance maximale
WRC	World Radiation Centre
WRR	référence radiométrique mondiale

5 Principes de mesure des cellules solaires spatiales

5.1 Principes de mesure

Dans la pratique courante, la performance photovoltaïque d'une cellule solaire est déterminée par son exposition, à une température donnée, à un rayonnement lumineux stable, solaire ou simulé, et par le tracé de sa caractéristique courant-tension durant la mesure de l'amplitude de l'irradiance incidente.

La performance mesurée est ensuite corrigée dans les STC ou autres conditions souhaitées d'irradiance et de température. Il est d'ordinaire fait référence à la puissance de sortie corrigée à la tension nominale et dans les STC en tant que puissance nominale.

Comme la réponse d'une cellule solaire dépend de la longueur d'onde, sa performance est affectée de façon significative par la distribution spectrale du rayonnement incident qui, pour le rayonnement solaire hors atmosphère, varie selon les positions relatives du soleil et de la terre, selon la saison, l'époque de l'année et l'heure de la journée, et qui, pour le rayonnement d'un simulateur, varie selon son type et ses conditions d'utilisation.

Si l'irradiance est mesurée à l'aide d'un radiomètre de type thermopile qui n'est pas spectralement sélectif, les rendements de conversion mesurés peuvent varier de plusieurs pour cent en raison des variations de distribution spectrale.

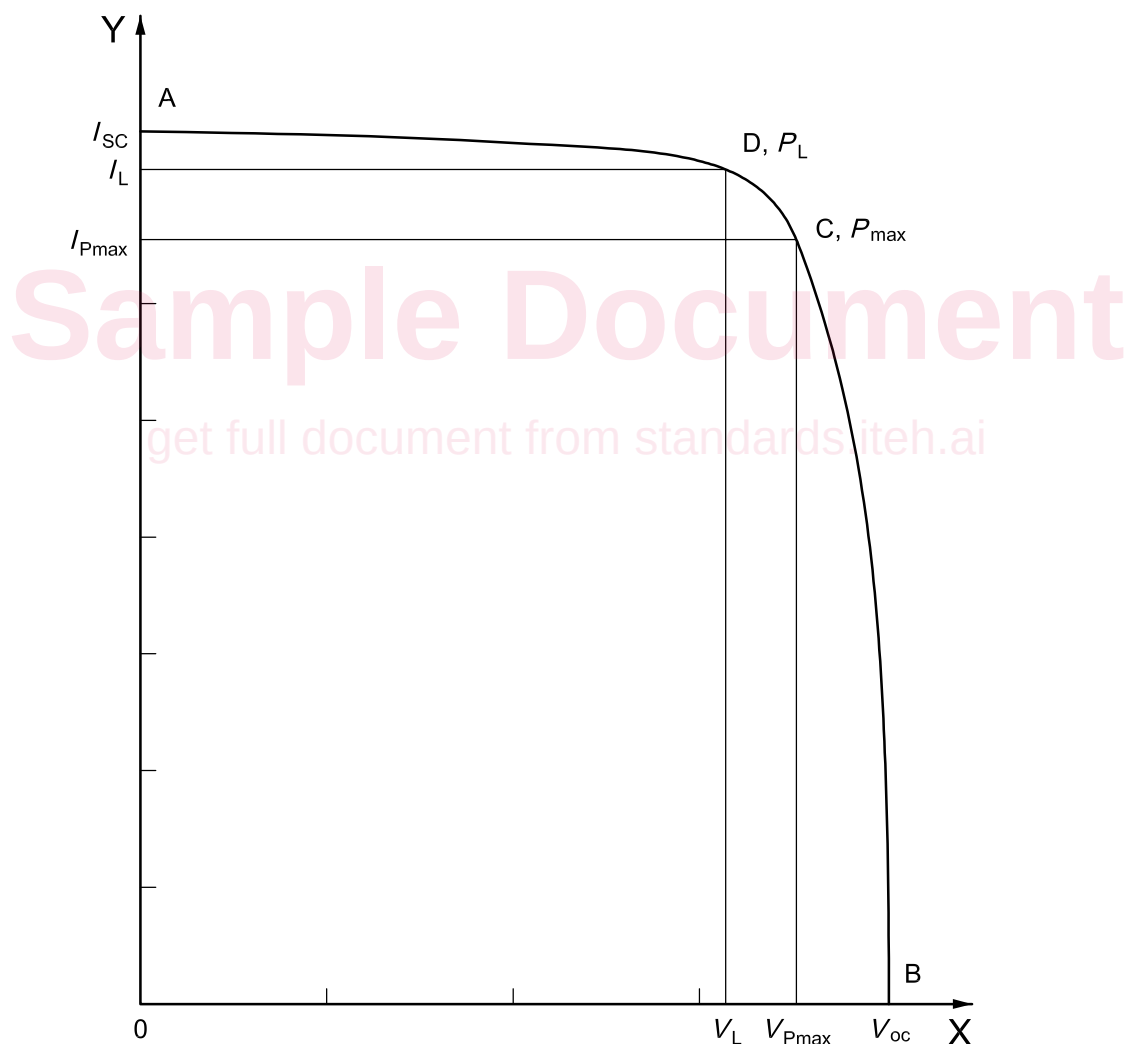
Les principes décrits dans la présente norme sont destinés à réduire ces écarts en reliant la performance nominale à une distribution d'irradiance spectrale solaire hors atmosphère de référence. Ceci est obtenu en mesurant l'irradiance avec une cellule solaire étalon AM0 qui a essentiellement la même réponse spectrale relative que la cellule à mesurer et qui a été étalonnée en termes de courant de court-circuit par unité d'irradiance ($\text{A}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) avec la distribution spectrale de référence.

Si la performance d'une cellule solaire est liée à une distribution d'irradiance spectrale connue, il sera possible à un utilisateur ou à un concepteur de panneaux solaires de calculer, à l'aide de la réponse spectrale des cellules et dans des limites de tolérance raisonnables, la performance de ce même panneau exposé au rayonnement lumineux d'une source ayant une toute autre distribution d'irradiance spectrale connue.

5.2 Caractéristiques courant-tension

Voir Annexe A. Un exemple de courbe I - V mesurée à une température et une irradiance fixées est donné à la Figure 1. Le courant est en ordonnée, la tension en abscisse. Les caractéristiques électriques obtenues à partir de la courbe I - V sont les suivantes:

- courant de court-circuit (I_{sc}): le point A correspond à la valeur du courant où la courbe I - V traverse l'axe du courant quand $V = 0$;
- tension de circuit ouvert (V_{oc}): le point B correspond à la valeur de la tension où la courbe I - V traverse l'axe de tension quand $I = 0$;
- puissance maximale (P_{max}): le point C correspond à la valeur de la puissance au point de la courbe I - V où le produit «courant multiplié par tension» est maximal;
- courant de charge (I_L): le point D correspond à la valeur du courant mesuré à une tension de charge spécifiée V_L .



X Tension

Y Courant

Irradiance = E ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

Température = T ($^{\circ}\text{C}$)

Figure 1 — Exemple de courbe courant-tension

6 Exigences de base pour une cellule solaire étalon AM0

6.1 Généralités

L'Article 6 donne les exigences de classification, sélection, emballage, marquage, étalonnage et conservation des cellules solaires étalons AM0.

6.2 Description

6.2.1 Cellule solaire étalon AM0 hors atmosphère

Cellule solaire dont l'étalonnage est réalisé dans les conditions AM0 hors atmosphère à l'aide d'un ballon ou d'un aéronef stratosphérique.

6.2.2 Cellule solaire étalon AM0 simulée

Cellule solaire dont l'étalonnage est réalisé dans des conditions AM0 simulées à l'aide d'un simulateur solaire, ou de la lumière solaire globale ou directe.

6.3 Sélection

Les cellules solaires doivent être irradiées avec une constante solaire ($1\,367\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et spectre AM0) pendant 48 h. Les cellules doivent être conservées à $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ pendant l'essai.

Deux cellules solaires au moins doivent être sélectionnées pour étalonnage comme cellules solaires étalons AM0. La réponse spectrale des cellules sélectionnées doit être telle que les erreurs de mesure de performance de l'essai concerné (réalisé à la lumière solaire hors atmosphère ou par simulateur spécifique) causées par un écart de réponse spectrale, soient inférieures à $\pm 1\%$. L'erreur de dispersion spectrale doit être calculée selon la méthode décrite dans l'Annexe B.

Les cellules solaires étalons AM0 doivent être des dispositifs stables, c'est-à-dire que leurs caractéristiques photovoltaïques ne doivent pas varier de plus de 1 % entre l'étalonnage initial et le suivant.

6.4 Mesure de température

Les moyens utilisés pour mesurer la température de jonction des cellules solaires étalons AM0 doivent avoir une précision de $\pm 1\text{ °C}$.

6.5 Connexions électriques

Toute résistance de mesure intégrée dans le support de la cellule solaire étalon AM0 doit être une résistance de faible valeur, de haute précision et de haute stabilité en température, afin de permettre le fonctionnement de la cellule à un niveau proche de son courant de court-circuit. En outre, les connexions électriques à la cellule solaire étalon AM0 non reliées à la résistance doivent être réalisées en quatre fils (effet Kelvin).

6.6 Étalonnage

Chaque cellule solaire étalon AM0 doit être étalonnée en termes de courant de court-circuit à $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ par unité d'irradiance ($\text{A}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) sous une irradiance spectrale de référence AM0.

Les méthodes normales d'étalonnage des cellules solaires étalons AM0 et des cellules solaires étalons secondaires sont décrites dans les Articles 8 et 9. La réponse spectrale relative et le coefficient de température de chaque cellule solaire étalon AM0 doivent être mesurés conformément aux Annexes C et D.