

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	72
INTRODUCTION.....	74
1 Domaine d'application.....	76
2 Références normatives	76
3 Termes et définitions	77
4 Classification des systèmes de surveillance	82
5 Généralités.....	82
5.1 Fidélité et incertitude de mesure.....	82
5.2 Étalonnage	83
5.3 Éléments répétés	83
5.4 Consommation d'énergie	83
5.5 Documentation.....	83
5.6 Inspection	83
6 Temporisation et rapport de l'acquisition des données.....	83
6.1 Échantillons, enregistrements et rapports	83
6.2 Horodatages	84
6.3 Noms de paramètres	85
7 Mesurages exigés.....	85
8 Éclairement énergétique	89
8.1 Types de capteurs.....	89
8.2 Exigences générales	89
8.2.1 Aperçu.....	89
8.2.2 Exigences relatives aux capteurs	89
8.2.3 Emplacements des capteurs.....	90
8.2.4 Réétalonnage	91
8.2.5 Atténuation de l'encrassement.....	91
8.2.6 Atténuation de la rosée et du gel	92
8.2.7 Inspection et maintenance.....	92
8.2.8 Alignement des capteurs	92
8.3 Mesurages	93
8.3.1 Éclairement énergétique horizontal global	93
8.3.2 Éclairement énergétique dans le plan	93
8.3.3 Éclairement énergétique arrière dans le plan	93
8.3.4 Coefficient d'éclairement énergétique arrière dans le plan	94
8.3.5 Albédo horizontal	94
8.3.6 Éclairement énergétique normal direct.....	94
8.3.7 Éclairement énergétique horizontal diffus	94
8.3.8 Éclairement énergétique adapté spectralement.....	94
8.3.9 Éclairement énergétique dans le plan pour les systèmes à concentration	95
8.3.10 Éclairement énergétique spectral pour les systèmes à concentration.....	96
8.3.11 Mesurages circumsolaires pour les systèmes à concentration	96
8.3.12 Télédétection par satellite de l'éclairement énergétique	97
9 Facteurs environnementaux	98
9.1 Température des modules PV.....	98

9.2	Température de l'air ambiant	99
9.3	Vitesse et direction du vent	99
9.4	Coefficient d'encrassement	100
9.5	Précipitations	100
9.6	Neige	100
9.7	Humidité	100
10	Suiveur solaire	100
10.1	Systèmes monoaxiaux de suivi de trajectoire du soleil	100
10.2	Systèmes biaxiaux de suivi de trajectoire du soleil	101
10.2.1	Surveillance	101
10.2.2	Alignement des capteurs d'erreurs de pointage	101
11	Mesurages électriques	101
11.1	Mesurages au niveau de l'onduleur	101
11.2	Mesurages au niveau de la centrale	102
12	Traitement des données et contrôle qualité	102
12.1	Nuit	102
12.2	Contrôle qualité	103
12.2.1	Suppression des valeurs relevées invalides	103
12.2.2	Traitement des données manquantes	103
13	Paramètres calculés	104
13.1	Aperçu	104
13.2	Sommations	104
13.3	Irradiation	105
13.4	Énergie électrique	105
13.4.1	Généralités	105
13.4.2	Énergie de sortie en courant continu	105
13.4.3	Énergie de sortie en courant alternatif	105
13.5	Puissance assignée du groupe	106
13.5.1	Puissance assignée en courant continu	106
13.5.2	Puissance assignée en courant alternatif	106
13.6	Productivités	106
13.6.1	Généralités	106
13.6.2	Productivité énergétique du groupe PV	106
13.6.3	Productivité finale du système	107
13.6.4	Productivité de référence	107
13.6.5	Productivité de référence bifaciale	107
13.7	Pertes de productivité	108
13.7.1	Généralités	108
13.7.2	Pertes dans le groupe photovoltaïque	108
13.7.3	Perte des éléments du système PV hors modules (BOS)	108
13.8	Rendements	108
13.8.1	Rendement du groupe (en courant continu)	108
13.8.2	Rendement du système (en courant alternatif)	108
13.8.3	Rendement des éléments du système hors modules	109
14	Mesures des performances	109
14.1	Aperçu	109
14.2	Sommations	110
14.3	Coefficients de performance	110

14.3.1	Coefficient de performance	110
14.3.2	Coefficients de performance compensés en température	111
14.3.3	Coefficients de performance bifaciaux	112
14.4	Indices des performances.....	113
15	Filtrage des données	114
15.1	Utilisation des données disponibles	114
15.2	Filtrage de données dans des conditions spécifiques	114
15.3	Disponibilité réduite des onduleurs, du réseau électrique ou des charges.....	114
Annexe A (informative) Intervalle d'échantillonnage.....		115
A.1	Considérations générales.....	115
A.2	Constantes de temps.....	115
A.3	Erreur de repliement spectral	115
A.4	Exemple.....	116
Annexe B (informative) Choix et fixation des capteurs de température de la face arrière du module		117
B.1	Objectif.....	117
B.2	Choix des capteurs et des matériaux	117
B.2.1	Type optimal de capteur	117
B.2.2	Rubans adhésifs optimaux	117
B.2.3	Adhésifs à base de cyanoacrylate et intégrité des couches arrière	118
B.3	Fixation des capteurs	118
B.3.1	Permanente par opposition à temporaire	118
B.3.2	Emplacement de la fixation	118
B.3.3	Modules bifaciaux	118
B.3.4	Méthode	118
Annexe C (normative) Mesurage de l'encrassement avec une paire de dispositifs PV de référence, l'un propre, l'autre encrassé.....		121
C.1	Aperçu.....	121
C.2	Équipement.....	121
C.3	Étalonnage	121
C.4	Méthode de mesure 1 – réduction de la puissance maximale en raison de l'encrassement.....	122
C.5	Méthode de mesure 2 – réduction du courant de court-circuit en raison de l'encrassement.....	122
C.6	Encrassement non uniforme	122
C.7	Valeur quotidienne moyenne	123
C.8	Réétalonnage.....	123
Annexe D (informative) Facteurs de réduction de caractéristiques		124
Annexe E (normative) Systèmes à charges locales, stockage ou sources auxiliaires		126
E.1	Types de systèmes	126
E.2	Paramètres et équations	128
Bibliographie		136
Figure 1– Éléments possibles des systèmes PV		74
Figure 2 – Échantillons, enregistrements et rapports.....		84
Figure B.1 – Méthode de fixation des capteurs, permanente		119
Figure B.2 – Méthode de fixation des capteurs, temporaire		119
Figure B.3 – Relaxation des contraintes sur les fils du capteur.....		120

Figure E.1 – Flux d'énergie entre les éléments possibles des différents types de systèmes PV	126
Tableau 1 – Exigences relatives aux intervalles d'échantillonnage et d'enregistrement.....	84
Tableau 2 – Paramètres mesurés et exigences.....	86
Tableau 3 – Multiplicateur référencé dans le Tableau 2	89
Tableau 4 – Exigences relatives aux capteurs d'éclairement énergétique	90
Tableau 5 – Exigences relatives au mesurage électrique au niveau des onduleurs	102
Tableau 6 – Exigences relatives au mesurage de la puissance électrique en courant alternatif au niveau de la centrale	102
Tableau 7 – Paramètres calculés	104
Tableau 8 – Mesures des performances	109
Tableau E.1 – Éléments des différents types de systèmes PV.....	127
Tableau E.2 – Paramètres et équations pour les différents types de systèmes	128

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PERFORMANCES DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1: Surveillance

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61724-1 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2017. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- Présentation de la surveillance des modules PV bifaciaux.
- Mise à jour des exigences relatives aux capteurs d'éclairement énergétique.
- Mise à jour du mesurage de l'encrassement pour tenir compte des nouvelles technologies.
- Suppression des systèmes de surveillance de classe C.

- Mise à jour de différentes exigences, recommandations et notes explicatives.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1904/FDIS	82/1925/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61724, publiées sous le titre général *Performances des systèmes photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

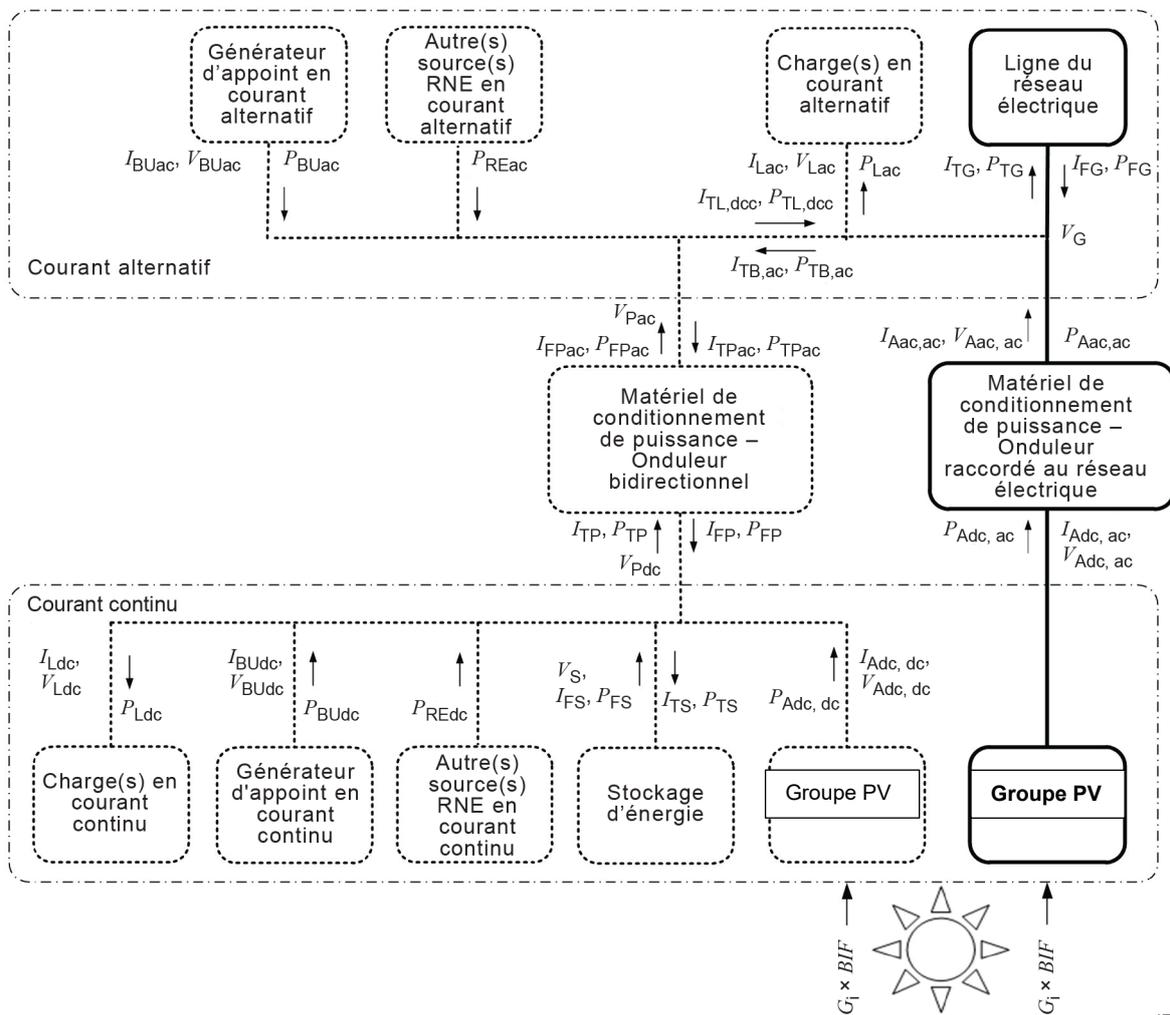
- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

Le présent document définit les classes de systèmes de surveillance des performances des systèmes photovoltaïques (PV) et donne des recommandations relatives au choix des systèmes de surveillance.

La Figure 1 représente des éléments majeurs de différents types de systèmes PV. Les principaux articles du présent document sont rédigés pour les systèmes raccordés au réseau électrique sans charge locale, stockage d'énergie ou source auxiliaire, comme cela est représenté par les lignes en gras à la Figure 1. L'Annexe E donne quelques informations relatives aux systèmes avec des composants complémentaires.

Les groupes photovoltaïques pris en considération dans ce document peuvent être constitués de modules plans montés sur support fixe ou sur suiveur solaire. Les systèmes à concentration sont aussi pris en considération.



Légende:

RNE: énergie renouvelable (renewable energy);

PCE: matériel de conditionnement de puissance (power conditioning equipment);

BDI: onduleur bidirectionnel (bi-directional inverter);

GCI: onduleur raccordé au réseau électrique (grid-connected inverter).

Les lignes en gras indiquent un système simple raccordé au réseau électrique sans charge locale, stockage d'énergie ou source auxiliaire.

Figure 1– Éléments possibles des systèmes PV

Les objectifs d'un système de surveillance de la performance sont variés et peuvent comprendre la comparaison des performances afin de concevoir les attentes et les garanties, ainsi que la détection et la localisation des pannes.

Pour comparer les performances afin de concevoir les attentes et les garanties, il convient de concentrer l'attention sur les données au niveau du système et sur la fidélité entre les prédictions et les méthodes d'essai.

Pour détecter et localiser les pannes, il convient qu'il y ait une plus grande résolution dans les sous-niveaux du système et que l'accent soit mis sur la répétabilité du mesurage et les mesures de corrélation.

Il convient d'adapter le système de surveillance à la taille du système PV et aux exigences des utilisateurs. En règle générale, il convient que les systèmes PV les plus grands soient équipés de davantage de points de surveillance et de capteurs de plus grande exactitude par rapport aux systèmes PV plus petits et moins coûteux.

PERFORMANCES DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1: Surveillance

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61724 présente une terminologie, des équipements et des méthodes relatifs à la surveillance des performances et à l'analyse des systèmes photovoltaïques (PV). Elle sert également de base à d'autres normes qui s'appuient sur les données collectées.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050-131, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 131: Théorie des circuits*

IEC 60904-2, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence*

IEC 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*

IEC 60904-7, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques*

IEC 61215 (toutes les parties), *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres - Qualification de la conception et homologation*

IEC 61557-12, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension jusqu'à 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 12: Dispositifs de comptage et de surveillance du réseau électrique (PMD)*

IEC TS 61724-2, *Photovoltaic system performance – Part 2: Capacity evaluation method* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 61724-3, *Photovoltaic system performance – Part 3: Energy evaluation method* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

IEC 62053-22, *Équipement de comptage de l'électricité – Exigences particulières – Partie 22: Compteurs statiques d'énergie active en courant alternatif (classes 0,1 S, 0,2 S et 0,5 S)*

IEC 62670-3, *Concentrateurs photovoltaïques (CPV) – Essai de performances – Partie 3: Mesurages de performances et rapport de puissance*

IEC 62817:2014, *Systèmes photovoltaïques – Qualification de conception des suiveurs solaires*

Guide ISO/IEC 98-1, *Incertitude de mesure – Partie 1: Introduction à l'expression de l'incertitude de mesure*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

ISO 9060:2018, *Solar energy – Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation* (disponible en anglais seulement)

ISO 9488, *Énergie solaire – Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-131, l'IEC TS 61836, l'ISO 9488, ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

échantillon

données acquises à partir d'un capteur ou d'un dispositif de mesure

3.2

intervalle d'échantillonnage

intervalle entre deux échantillons

3.3

enregistrement

données enregistrées et stockées

3.4

intervalle d'enregistrement

τ

intervalle entre deux enregistrements

3.5

rapport

valeur totale calculée d'après une série d'enregistrements

3.6

période de suivi

intervalle entre deux établissements de rapport

3.7

face avant

côté d'une surface généralement orienté vers le ciel

3.8

face arrière

côté d'une surface généralement orienté vers le sol

3.9**dispositif PV monoface**

dispositif PV dans lequel seule la face avant est utilisée pour la production d'énergie

3.10**dispositif PV bifacial**

dispositif PV dans lequel la face avant et la face arrière sont utilisées pour la production d'énergie

3.11**coefficient de bifacialité** **φ**

rapport entre la caractéristique I-V de la face arrière et de la face avant d'un dispositif bifacial, en règle générale dans les conditions normales d'essai, sauf spécification contraire

Note 1 à l'article: Les coefficients de bifacialité incluent le coefficient de bifacialité sous courant de court-circuit φ_{ISC} , le coefficient de bifacialité sous tension en circuit ouvert φ_{VOC} et le coefficient de bifacialité sous puissance maximale φ_{Pmax} .

Note 2 à l'article: L'IEC TS 60604-1-2 définit les coefficients de bifacialité.

3.12**éclairage énergétique****G**

flux de rayonnement incident sur une unité de surface

Note 1 à l'article: Exprimée en $W \cdot m^{-2}$.

3.13**éclairage énergétique dans le plan** **G_i ou POA**

somme des éclairagements énergétiques directs, diffus et réfléchis, incidents sur la face avant d'une surface parallèle au plan des modules du groupe PV, également appelé éclairage énergétique dans le plan du groupe photovoltaïque (POA)

Note 1 à l'article: Exprimée en $W \cdot m^{-2}$.

Note 2 à l'article: L'abréviation "POA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "plane-of-array".

3.14**albédo horizontal** **ρ_H**

proportion de lumière incidente réfléchie par le sol, mesurée dans un plan horizontal

Note 1 à l'article: Il s'agit d'une propriété du sol et d'une grandeur sans unité sur une échelle de 0 à 1.

3.15**coefficient d'éclairage énergétique arrière dans le plan** **ρ_i**

rapport de l'éclairage énergétique incident sur la face arrière des modules dans le groupe PV à l'éclairage énergétique incident sur la face avant

Note 1 à l'article: Il s'agit d'une grandeur sans unité, mais elle peut dépasser la valeur de 1 puisque, en plus de la lumière réfléchie, les composantes diffuses et réfléchies de la ressource solaire peuvent être mesurées à l'arrière du plan du groupe.