

NORME INTERNATIONALE

**ISO
9059**

Première édition
1990-11-01

Énergie solaire — Étalonnage des pyrhéliomètres de terrain par comparaison à un pyrhéliomètre de référence

iTeh STANDARD PREVIEW

*(Solar energy — Calibration of field pyrheliometers by comparison to a
reference pyrheliometer)*

ISO 9059:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ccd95ef2-8cc0-4481-9618-14b310ceaacd/iso-9059-1990>



Numéro de référence
ISO 9059:1990(F)

Sommaire

	Page
1 Domaine d'application	1
2 Référence normative	1
3 Définitions	1
4 Hiérarchie d'étalonnage des pyréliomètres	2
5 Exigences d'étalonnage	2
6 Procédure d'étalonnage	3
7 Incertitude	5
8 Documentation	5

Annexes

A Calcul de la fraction de la composante de rayonnement circumsolaire contenue dans le rayonnement solaire direct	6
B Bibliographie	7

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9059:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ccd95ef2-8cc0-4481-9618-14b310ceaacd/iso-9059-1990>

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 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.

La Norme internationale ISO 9059 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 180, *Énergie solaire*.

Les annexes A et B de la présente Norme internationale sont données **uniquement à titre d'information**.
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/si/4481-9618-14b310ceaacd/iso-9059-1990>

Introduction

La présente Norme internationale fait partie d'une série de normes qui prescrit les méthodes et les instruments liés au mesurage du rayonnement solaire.

Les pyréliomètres sont utilisés pour mesurer le rayonnement solaire direct. Les données sont utilisées pour:

- déterminer l'efficacité des capteurs à concentration,
- déterminer le rayonnement direct pour les dispositifs de concentration de l'énergie solaire ainsi que pour leur installation et leur dimensionnement, etc., et
- déterminer avec exactitude le rayonnement solaire hémisphérique comme la somme des mesures des rayonnements solaires direct et réfléchi.

La hiérarchie d'étalonnage des pyréliomètres prescrite dans la présente Norme internationale est conforme au schéma institué par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) [1], et la classification et les caractéristiques sont données dans l'ISO 9060. Au cours de l'élaboration de la présente Norme internationale, on a également pris en compte l'ASTM 816-81 [2].

Énergie solaire — Étalonnage des pyréliomètres de terrain par comparaison à un pyréliomètre de référence

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit l'étalonnage des pyréliomètres de terrain à partir de pyréliomètres étalons, et donne les éléments de procédure d'étalonnage et la hiérarchie d'étalonnage pour le report d'étalonnage.

La présente Norme internationale s'adresse principalement aux services d'étalonnage et aux laboratoires d'essai qui visent à obtenir une qualité uniforme des facteurs d'étalonnage de précision.

2 Référence normative

La norme suivante contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de la norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 9060:1990, *Énergie solaire — Spécification et classification des instruments de mesurage du rayonnement solaire hémisphérique et direct.*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 rayonnement solaire direct: Rayonnement reçu par un faible angle solide centré sur le disque solaire, sur un plan donné [ISO 9060:1990, 3.3].

3.2 pyréliomètres: Radiomètres conçus pour mesurer l'éclairement énergétique correspondant à un

flux de rayonnement solaire reçu depuis un angle solide défini dont l'axe est perpendiculaire à la surface plane du récepteur.

NOTE 1 Selon cette définition, les pyréliomètres sont utilisés pour mesurer le rayonnement solaire direct à une incidence normale. Les angles d'ouverture caractéristiques des pyréliomètres sont compris entre 5° et 10°. Contrairement aux instruments sans fenêtre, la sensibilité spectrale des pyréliomètres de terrain est limitée approximativement au domaine compris entre 0,3 µm et 3 µm selon le facteur de transmission spectrale de la fenêtre protégeant la surface du récepteur. Toutefois, les instruments sans fenêtre fonctionnent avec une perte d'énergie inférieure à 1 % (voir ISO 9060:1990, note 2 en 3.3).

3.3 pyréliomètres de terrain: Pyréliomètres conçus et utilisés pour mesurer le rayonnement solaire direct sur le terrain pendant de longues périodes. Ils sont généralement protégés des intempéries. Le récepteur est protégé du vent, de la boue, de la pluie, de la neige et des insectes par une fenêtre (en quartz) ou par un système assurant une puissante ventilation.

3.4 pyréliomètres de référence: Pyréliomètres d'une catégorie quelconque servant de référence dans le cadre des procédures d'étalonnage. Il s'agit d'instruments sélectionnés et dûment testés (voir ISO 9060:1990, tableau 2), ayant un taux annuel de variation en réponse peu important. Ils sont contrôlés régulièrement par comparaison à d'autres pyréliomètres de référence.

NOTE 2 Les pyréliomètres de référence fonctionnent généralement sans fenêtre de protection.

Pour parvenir à la réponse stable évoquée ci-dessus, il convient de limiter l'usage d'un pyréliomètre de référence à des activités de comparaison et d'étalonnage. On veillera à stocker l'instrument avec soin dans un laboratoire en ambiance tempérée.

3.5 pyréliomètres étalons primaires: Pyréliomètres sélectionnés dans le groupe des pyréliomètres absolus (également appelés

radiomètres absolus) et satisfaisant aux exigences de l'ISO 9060:1990, 5.3.1.

3.6 pyrhéliomètres étalons secondaires: Pyrhéliomètres de haute précision et de grande stabilité dont les facteurs d'étalonnage sont obtenus à partir des pyrhéliomètres étalons primaires. Ce groupe comprend les pyrhéliomètres absolus qui ne répondent pas aux exigences applicables aux pyrhéliomètres étalons primaires ainsi que les pyrhéliomètres à compensation et d'autres instruments de précision mais plus anciens tels que le pyrhéliomètre à disque d'argent. (Voir aussi ISO 9060:1990, 5.3.2.)

3.7 pyrhéliomètres de première et de seconde classe: Pyrhéliomètres de stabilité et d'exactitude inférieures à celles des pyrhéliomètres étalons secondaires. Généralement, le groupe des pyrhéliomètres de terrain appartient à cette catégorie. (Voir aussi ISO 9060:1990, 5.3.2.)

NOTE 3 Ces instruments servent parfois d'«étalons de travail» car ils sont d'un emploi plus souple et moins tributaires des conditions atmosphériques que les instruments de haute précision. Il convient de comparer ces étalons de travail le plus souvent possible à des pyrhéliomètres de catégorie supérieure.

4 Hiérarchie d'étalonnage des pyrhéliomètres

La hiérarchie d'étalonnage des pyrhéliomètres suivante doit s'appliquer.

Tous les pyrhéliomètres doivent être référencés par rapport à la référence radiométrique mondiale (RRM) (voir ISO 9060:1990, 3.6).

Les pyrhéliomètres étalons primaires doivent être référencés par rapport à la RRM par comparaison à des groupes sélectionnés d'étalons primaires correctement entretenus (voir ISO 9060:1990, 5.3.1).

Les pyrhéliomètres étalons primaires doivent servir de référence pour l'étalonnage des pyrhéliomètres étalons secondaires et peuvent servir de référence pour les pyrhéliomètres de première et de seconde classe.

La référence pour l'étalonnage d'un pyrhéliomètre de classe 1 ou de classe 2 doit être un pyrhéliomètre de classe égale ou supérieure.

Si le pyrhéliomètre de référence ou celui devant être étalonné sont de classes égales, ils doivent être de même marque commerciale et du même modèle, et le pyrhéliomètre de référence doit avoir été étalonné par rapport à un pyrhéliomètre de classe supérieure à la sienne.

NOTE 4 Dans le cas où le pyrhéliomètre de référence est de même classe que celui devant être étalonné, il est

recommandé d'utiliser plusieurs pyrhéliomètres de référence pour l'étalonnage.

5 Exigences d'étalonnage

On procède à l'étalonnage d'un pyrhéliomètre de terrain en recourant à un pyrhéliomètre de référence et en exposant les deux instruments au même flux de rayonnement, puis en comparant leurs signaux respectifs. L'étalonnage doit satisfaire à certaines exigences quant:

- au choix de la source de rayonnement,
- aux limites acceptables de variations climatiques pendant l'étalonnage, et
- au choix du matériel de mesure.

5.1 Source de rayonnement

Le pyrhéliomètre doit être exposé au flux de rayonnement solaire direct y compris au rayonnement circumsolaire. L'éclairement énergétique ne doit pas être inférieur à $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Toutefois, des valeurs d'éclairement supérieures à $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sont préférables. Les conditions d'étalonnage, du point de vue de la contribution circumsolaire, doivent être aussi proches que possible des conditions régulières de mesurage du pyrhéliomètre de terrain (voir

ISO 9059:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ccd95ef2-8cc0-4481-9618-140510ceaacc/sist-9059-1990>

5.2 Variables météorologiques

5.2.1 Vitesse du vent

Pendant l'étalonnage, la vitesse du vent doit être faible, notamment si le vent souffle depuis l'azimut solaire ($\pm 30^\circ$).

NOTE 5 À cause du refroidissement dû au vent, les pyrhéliomètres à tube ouvert donnent des indications inférieures marquées par un écart-type plus important. L'amplitude du phénomène dépend du type de pyrhéliomètre et plus particulièrement de la conception des diaphragmes dans le tube.

On peut réduire l'effet du vent par l'installation d'écrans. Il peut, par exemple, être utile d'effectuer les mesurages depuis un balcon ou une fenêtre ouverte. Une vitesse maximale et acceptable du vent dans des conditions non protégées ne peut être prescrite.

5.2.2 Température de l'air ambiant

Il convient d'effectuer l'étalonnage dans une plage de température de l'air ambiant couvrant une grande partie de l'intervalle de température caractéristique de l'application sur le terrain, ceci pour contrôler le lien entre le facteur d'étalonnage et la température, si ce rapport n'a pu être établi préalablement lors d'essais en laboratoire.

5.2.3 Aspect du ciel

Pendant l'étalonnage, les nuages doivent se trouver à une distance angulaire du soleil supérieure à 15°. Des conditions d'étalonnage satisfaisantes sont généralement obtenues lorsque la nébulosité est inférieure à 12,5 %.

NOTES

6 On peut tolérer les trainées de condensation des avions qui se trouvent à une distance angulaire du soleil jusqu'à 15°, si le nombre de mesures instantanées ainsi perturbées est faible par rapport au nombre de données correctes d'une série (voir 6.3.2).

7 La vapeur d'eau atmosphérique en phase de précondensation provoque occasionnellement un facteur de transmission atmosphérique variable. On peut généralement tolérer la dispersion des données de mesurage imputable à ce phénomène.

Le trouble atmosphérique pendant l'étalonnage doit être proche des valeurs caractéristiques des conditions de mesurage sur le terrain. Généralement, le trouble doit être tel que le facteur de trouble de Linke soit inférieur à 6 (voir ISO 9060:1990, 3.7).

NOTE 8 Le trouble atmosphérique est engendré par la dispersion et l'absorption du rayonnement solaire direct par les aérosols et les gaz, y compris la vapeur d'eau.

Le rayonnement circumsolaire (auréole) provient de la dispersion du rayonnement solaire direct. Il décroît à partir du limbe du soleil à une distance angulaire d'environ 15° selon une amplitude qui est fonction du type et de la concentration de l'aérosol (voir par exemple [3], [4] et [5]). La quantité de rayonnement solaire caractéristique à une distance angulaire de 5° par rapport au soleil ne représente que quelques pourcents du rayonnement solaire direct. Si les pyréliomètres étalons et de terrain ont des angles d'ouverture différents, l'aérosol peut fortement influencer sur l'exactitude de l'étalonnage. Les rapports calculés entre rayonnement circumsolaire et rayonnement solaire direct, pour différents types d'aérosols et différentes hauteurs angulaires du soleil [4] sont donnés à titre d'information au tableau A.1.

5.3 Matériel de mesure

5.3.1 Pyréliomètre de référence

Le pyréliomètre de référence doit être choisi selon la hiérarchie d'étalonnage donnée à l'article 4. Son angle d'ouverture et son angle de pente (voir ISO 9060:1990, 5.1) doivent en outre être semblables à ceux du pyréliomètre de terrain.

5.3.2 Monture support de suivi du soleil

On peut utiliser des montures support de suivi du soleil donnant des mouvements indépendants en élévation et en azimuth (monture horizontale) de même que des supports de suivi qui placent le pyréliomètre parallèlement au plan équatorial solaire (monture équatoriale ou parallactique).

Les pyréliomètres pourvus d'un capteur à révolution non symétrique doivent suivre la course du soleil sans rotation du récepteur par rapport à l'axe du tube. Dans ce cas, on ne doit utiliser qu'une monture horizontale. Le défaut d'alignement admissible de la monture doit être inférieur à l'angle de pente du pyréliomètre moins 0,25°.

5.3.3 Acquisition de données

On doit utiliser un voltmètre numérique d'une résolution au moins égale à 0,05 % de l'indication maximale du pyréliomètre pour lire le signal délivré par ce dernier. L'exactitude du voltmètre, qui doit être supérieure à $\pm 0,1$ %, doit rester stable pendant au moins 1 an et inclure la dérive de température.

NOTE 9 Quand on utilise un voltmètre numérique en extérieur, son exactitude peut être influencée par la température ambiante. Il est recommandé de protéger l'instrument de la lumière directe du soleil. Lors de l'utilisation d'un voltmètre numérique à l'intérieur il faut utiliser un câblage à bruit faible à cause de la longueur de ce câblage.

La centrale d'acquisition de données doit disposer au moins d'un système à quatre voies pour pouvoir enregistrer la température. Les lectures des signaux issus du pyréliomètre doivent être synchrones à 1 s près, le rythme des mesurages instantanés s'établissant entre 1 toutes les 30 s et 1 toutes les 120 s. Si la centrale d'acquisition de données peut réaliser l'intégration du signal issu du pyréliomètre, le temps d'intégration ne doit pas dépasser 20 min.

6 Procédure d'étalonnage

La procédure d'étalonnage comprend la préparation du matériel, l'échantillonnage des données et le traitement mathématique.

6.1 Préparation

6.1.1 Installation

Installer et aligner le pyréliomètre de référence et le pyréliomètre de terrain soit solidairement sur une monture support de suivi du soleil, soit séparément sur des montures au moins 30 min avant le début de la première série d'essais (cet intervalle de 30 min permet l'adaptation à la température de l'air ambiant). S'assurer que la distance séparant des instruments installés séparément est inférieure à 20 m.

NOTES

10 La monture support peut être manipulée à la main.

11 Les distances importantes entre les instruments peuvent influencer sur les résultats du fait de la non-homogénéité de l'éclairement énergétique direct imputable à des concentrations d'éléments de trouble dans l'atmosphère.

Connecter et mettre sous tension le système d'acquisition de données et le laisser chauffer pendant au moins 30 min avant d'effectuer les mesurages. Se conformer aux modes d'installation et de fonctionnement décrits dans les notices d'utilisation applicables.

Mettre en place, le cas échéant, autour des pyréliomètres ou devant eux des paravents dotés d'obturateurs ouverts ou de tubes à diaphragme, afin d'empêcher que des rafales de vent perturbent les mesurages.

6.1.2 Réglage et essais

Régler le pyréliomètre sur sa monture et la monture elle-même pour aligner l'instrument sur le soleil immédiatement avant le début de l'étalonnage. Utiliser les dioptries ou les mécanismes de visée prévus à cet effet.

Effectuer les contrôles du zéro, de la polarité et de l'intensité du signal, et des tensions de référence conformément aux notices d'utilisation.

6.1.3 Nettoyage

Nettoyer les fenêtres des pyréliomètres étanches avant d'effectuer les mesurages.

6.2 Échantillonnage

Diviser la période de mesurage en au moins 10 (et de préférence 20) séquences de relevés (séries ou jeux de mesurage) de 10 min à 20 min. Identifier chaque série par l'angle moyen de hauteur solaire, par la température moyenne de l'air et par la valeur moyenne de trouble atmosphérique.

Effectuer et enregistrer au moins 10 relevés instantanés ou au moins une valeur cumulée pendant chaque série de mesurages.

NOTES

12 S'il est nécessaire de déterminer le lien entre les facteurs d'étalonnage et des paramètres tels que la température, le trouble atmosphérique, la hauteur du soleil, etc., effectuer un nombre supérieur de séries de mesurage.

13 Le mode de fonctionnement des pyréliomètres de référence empêche souvent de comparer les valeurs cumulées pendant des intervalles dépassant quelques se-

condes. Il convient alors d'effectuer un minimum de 10 relevés.

Mesurer les zéros d'instrument et autres valeurs de référence immédiatement avant et après chaque série de mesurages.

Déterminer l'écart-type des valeurs indiquées par l'instrument de référence et l'instrument de terrain et ce, pour chaque série et entre les valeurs moyennes de chaque série, afin de déterminer la fiabilité des données enregistrées (voir 6.3.3).

Consigner la liste de tous les problèmes opératoires ainsi que les conditions particulières d'environnement et les aménagements pratiques.

6.3 Traitement mathématique

6.3.1 Calcul du facteur d'étalonnage

6.3.1.1 À partir de chaque relevé i d'une série de mesurages j , calculer

$$I(i, j) = \frac{E_{SP}(i, j)}{V_{FP}(i, j)} \quad \dots (1)$$

ou $E_{SP}(i, j)$ sont les valeurs de l'éclairement énergétique du rayonnement solaire direct données par le pyréliomètre de référence;

$V_{FP}(i, j)$ sont les valeurs mesurées, en millivolts, du pyréliomètre de terrain (après soustraction de la valeur du zéro, comme prescrit dans le manuel d'utilisation de l'instrument).

6.3.1.2 Calculer le facteur d'étalonnage provisoire $F(j)$ pour le pyréliomètre de terrain à partir de n relevés d'une série de mesurages j à l'aide de la formule suivante:

$$F(j) = \frac{\sum_{i=1}^n E_{SP}(i, j)}{\sum_{i=1}^n V_{FP}(i, j)} \quad \dots (2)$$

6.3.1.3 Calculer le facteur d'étalonnage définitif F du pyréliomètre de terrain à partir du nombre total m des séries de mesurages à partir de la formule suivante:

$$F = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F(j) \quad \dots (3)$$

6.3.2 Rejet des données

S'il a été noté dans le compte-rendu des essais que les données ont été faussées par des problèmes techniques, rejeter les données correspondantes de tous les pyréliomètres.

Rejeter également les données si $F(i, j)$ [voir équation (1)] s'écarte de plus de $\pm 2\%$ de $F(j)$ [voir équation (2)].

NOTE 14 Selon les expériences, un écart de 2 % signale une valeur faussée (se reporter également à la méthode de rejet donnée en [6]).

Calculer la valeur de $F(j)$ en utilisant les données «filtrées» et le facteur d'étalonnage définitif F [à l'aide de l'équation (3)] à partir des données «filtrées».

6.3.3 Analyse statistique

Pour mesurer la stabilité des conditions d'étalonnage au cours d'une série de mesurages, déterminer les écarts-types des valeurs de $F(i, j)$ à partir des valeurs de $F(j)$. Déterminer les écarts-types de $F(j)$ par rapport à F ; ceux-ci représentent la stabilité de l'instrument et des conditions pendant toute la période d'étalonnage.

7 Incertitude

Si le pyréliomètre de référence n'est pas un pyréliomètre étalon primaire, l'incertitude du facteur d'étalonnage calculé pour le pyréliomètre de terrain est en outre liée à l'incertitude de l'étalonnage du pyréliomètre étalon secondaire utilisé (appelée incertitude de transfert).

L'incertitude du pyréliomètre étalon primaire est d'environ $\pm 0,3\%$ (1σ). Les incertitudes de transfert dépendent des conditions atmosphériques et des performances du pyréliomètre, en particulier de la répartition du rayonnement circumsolaire et de l'angle d'ouverture du pyréliomètre. Cette incertitude est plus faible lorsque tous les pyréliomètres constituant la chaîne d'étalonnage ont le même angle d'ouverture (et de pente) et lorsque le rayonnement circumsolaire est faible et son incidence très forte.

L'incertitude moyenne dans la procédure d'étalonnage d'un pyréliomètre étalon secondaire est d'environ $\pm 0,3\%$.

L'incertitude du facteur calculé du pyréliomètre de terrain dépend du type d'instrument et des conditions dans lesquelles s'effectue l'étalonnage.

NOTE 15 L'effet du rayonnement circumsolaire sur les résultats fournis par un pyréliomètre à compensation d'Angström est traité en [7] et [8].

8 Documentation

8.1 Certificat d'étalonnage

Le certificat d'étalonnage doit contenir au moins les éléments suivants:

- la méthode d'étalonnage (référence);
- le type, le modèle, le fabricant et le numéro de série du pyréliomètre de terrain;
- le type, le modèle, le fabricant et le numéro de série du pyréliomètre de référence (un bref énoncé permettant de rattacher le facteur d'étalonnage du pyréliomètre de référence au pyréliomètre étalon primaire doit être donné);
- les conditions de l'étalonnage, c'est-à-dire l'intervalle de température moyenne, l'intervalle des angles de hauteur du soleil, le trouble (facteur de trouble de Linke), la plage et la vitesse moyenne du vent et la plage d'éclairement énergétique;
- le nombre de mesurages distincts évalués et le nombre de jours de mesurage;
- les résultats de l'étalonnage qu'il convient d'exprimer en tant que facteur d'étalonnage (voir 6.3.1.3), en unités appropriées, par exemple le watt par mètre carré par millivolt ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mV}^{-1}$). Pour certains types de pyréliomètres, l'unité physique peut différer de celle indiquée ci-dessus. Dans certains cas particuliers, cependant, les valeurs moyennes peuvent être données selon les variables atmosphériques. L'échelle utilisée est celle de la référence radiométrique mondiale (RRM), voir [1].

8.2 Conservation des données

Conserver les données brutes obtenues lors de l'étalonnage pendant au moins 5 ans ou jusqu'à la fin de l'étalonnage réussi suivant mais de préférence pendant toute la durée de vie de l'instrument.