

NORME
INTERNATIONALE

ISO
9060

Première édition
1990-11-01

**Énergie solaire — Spécification et classification
des instruments de mesure du rayonnement
solaire hémisphérique et direct**

iTeh STANDARD PREVIEW

*Solar energy — Specification and classification of instruments for
measuring hemispherical solar and direct solar radiation*

ISO 9060:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a7ca69b-ba4b-48b2-97b4-c43d8c808b95/iso-9060-1990>



Numéro de référence
ISO 9060:1990(F)

Sommaire

	Page
1 Domaine d'application	1
2 Référence normative	1
3 Définitions	1
4 Instruments de mesurage du rayonnement solaire hémisphérique — Pyranomètres	2
5 Instruments de mesurage du rayonnement solaire direct — Pyrhéliomètres	5
6 Remarques finales	7

Annexes

A Commentaires sur les caractéristiques données au tableau 1 ..	8
A.1 Temps de réponse	8
A.2 Décalage du zéro	8
A.3 Stabilité	8
A.4 Non-linéarité	8
A.5 Réponse en direction (pour rayonnement direct)	8
A.6 Sélectivité spectrale	9
A.7 Réponse en température	9
A.8 Réponse en inclinaison	9
B Extrait du <i>Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation</i> , sous-paragraphe 9.3.1.1 (pyrhéliomètres étalons primaires)	10
C Bibliographie	11

© ISO 1990

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

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 9060 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 180, *Énergie solaire*.

Les annexes A, B et C de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

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, dans l'esprit d'une utilisation pratique de cette énergie.

Des mesures précises du rayonnement solaire sont utilisées en météorologie et s'imposent pour la conception et la fabrication d'appareils fonctionnant à l'énergie solaire, qu'il s'agisse d'en tester les performances, de simuler le rayonnement solaire ou d'évaluer l'ensoleillement.

Le mesurage du rayonnement s'impose pour déterminer le rendement de conversion des appareils solaires. La spécification et la classification de ces instruments sont nécessaires afin de permettre la comparaison des données de rayonnement solaire à l'échelle mondiale.

La spécification et la classification des radiomètres prescrits dans la présente Norme internationale se fondent sur une terminologie et une méthodologie semblables à celles qu'applique l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Cependant, spécification et classification diffèrent de celles données dans les documents de l'OMM, afin de répondre aux exigences particulières propres à l'utilisation de l'énergie solaire et aux appareils correspondants.

La présente Norme internationale indique en particulier la réglementation nécessaire à la mise en œuvre de la classification.

Énergie solaire — Spécification et classification des instruments de mesure du rayonnement solaire hémisphérique et direct

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit la classification et la spécification des instruments de mesure du rayonnement solaire hémisphérique et direct, cumulés dans le domaine spectral compris entre $0,3 \mu\text{m}$ et $3 \mu\text{m}$.

Les instruments de mesure du rayonnement solaire hémisphérique et direct sont classés d'après les résultats obtenus dans des essais effectués en intérieur et en extérieur. Les étalons primaires, qui sont des instruments de mesure du rayonnement solaire direct, sont classés selon leur conception et la spécification de la reproductibilité de mesure en extérieur vérifiée par des intercomparaisons pyréliométriques périodiques.

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.

Organisation météorologique mondiale, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, n° 8, 5^{ème} édition, OMM, Genève, 1983.

3 Définitions

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

3.1 rayonnement solaire hémisphérique: Rayonnement solaire reçu par une surface plane depuis un angle solide de $2\pi \text{ sr}$.

NOTE 1 Plus de 99 % du rayonnement solaire hémisphérique atteignant la surface terrestre sont compris dans le domaine de longueur d'onde situé entre $0,3 \mu\text{m}$ et $3 \mu\text{m}$. D'un point de vue général, le rayonnement solaire

hémisphérique se compose du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus (dispersé dans l'atmosphère) ainsi que du rayonnement solaire réfléchi par le sol.

3.2 rayonnement (solaire) global: Rayonnement solaire hémisphérique reçu par une surface plane horizontale.

3.3 rayonnement solaire direct: Rayonnement solaire reçu par une surface donnée depuis un petit angle solide centré sur le disque solaire.

NOTE 2 On mesure en général le rayonnement solaire direct à l'aide d'instruments d'angle d'ouverture maximal de 15° . Une part du rayonnement diffusé autour du disque solaire (rayonnement circumsolaire) est également incluse (see 5.1).

Plus de 99 % du rayonnement solaire hémisphérique atteignant la surface terrestre sont compris dans le domaine de longueur d'onde situé entre $0,3 \mu\text{m}$ et $3 \mu\text{m}$.

3.4 pyranomètres: Radiomètres conçus pour mesurer l'éclairement énergétique reçu par la surface plane d'un récepteur et qui résulte des flux de rayonnement incident provenant de l'hémisphère, dans le domaine de longueur d'onde compris entre $0,3 \mu\text{m}$ et $3 \mu\text{m}$.

NOTE 3 Le domaine spectral indiqué n'est que nominal. Selon les matériaux utilisés pour les coupelles qui protègent la surface réceptrice du pyranomètre (voir 4.1), les limites spectrales de sensibilité sont approximativement celles mentionnées ci-dessus.

Les radiomètres d'une conception semblable à celle des pyranomètres, mais dotés de capteurs photoélectriques dont la sensibilité spectrale n'est pas aussi uniforme dans le domaine spectral que l'exige le tableau 1 (n° de référence 3d) sont souvent appelés en fonction du capteur, par exemple «pyranomètre au silicium» (ou pyranomètre-Si).

3.5 pyréliomètres: Radiomètres conçus pour mesurer l'éclairement énergétique résultant du flux de

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

NOTE 4 Selon cette définition, les pyréliomètres sont utilisés pour mesurer le rayonnement solaire direct à incidence normale. L'angle d'ouverture caractéristique d'un pyréliomètre est 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 note 2 en 3.3).

3.6 référence radiométrique mondiale (RRM): Éta- lon de mesure représentant les unités SI d'éclair- ement énergétique avec une incertitude inférieure à ± 0,3 % (voir le *Guide to Meteorological Instru- ments and Methods of Observation*, 1983, sous- paragraphe 9.1.3). Cette référence fut adoptée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et est en vigueur depuis le 1^{er} juillet 1980.

Afin de garantir sa stabilité à long terme, la RRM est matérialisée par un groupe d'au moins quatre pyréliomètres absolus (voir 5.2.1) de conception différente (base étalon mondial) entretenus par le Centre mondial du rayonnement de Davos.

3.7 facteur de trouble de Linke: Mesure relative de l'atténuation du rayonnement solaire direct par l'at- mosphère totale. Ce facteur se rapporte uniquement à l'atténuation par diffusion moléculaire.

Le facteur de trouble de Linke peut être interprété comme un multiplicateur supposé de la longueur de parcours à travers une atmosphère moléculaire propre et non absorbante, afin d'ajuster l'atté- nuation de faisceau mesurée. Voir [2] pour le traitement mathématique.

4 Instruments de mesurage du rayonnement solaire hémisphérique — Pyranomètres

4.1 Conception d'ensemble

Les pyranomètres sont des radiomètres utilisés pour mesurer le rayonnement solaire hémisphéri- que (voir 3.1 et 3.4).

Les limites spectrales de mesure n'autorisent que l'utilisation de capteurs thermiques dotés de surfa- ces absorbantes, pour obtenir la sensibilité spec- trale uniforme que requièrent les pyranomètres (voir tableau 1, n° de référence 3d).

Les capteurs thermiques transforment l'énergie du rayonnement en énergie thermique entraînant une augmentation de la température de la surface ré- ceptrice. Cet accroissement est compensé par une

perte de chaleur sous diverses formes au niveau des puits thermiques (par exemple le bâti du pyranomètre et l'air ambiant).

Le capteur thermique d'un pyranomètre est protégé du vent, de la pluie et de la poussière ainsi que de l'échange de rayonnement thermique par une ou deux coupelles de verre dont le facteur spectral de transmission limite le domaine spectral de sensi- bilité entre 0,3 µm et 3 µm environ.

Les éléments principaux d'un pyranomètre sont les suivants:

- le capteur thermique dont la surface réceptrice est peinte en noir ou en bandes blanches et noi- res,
- la(les) coupelle(s) de verre (une ou deux) qui recouvre(nt) la surface réceptrice de façon concentrique, et
- le bâti qui est souvent protégé par un pare-soleil et qui sert de référence thermique.

4.2 Types

Le pyranomètre «thermoélectrique» est le type le plus courant. Il est doté d'une thermopile (appelée parfois thermobatterie) mesurant la différence de température entre une surface réceptrice noircie (jonctions actives) et le bâti (jonctions passives). La position et le nombre des jonctions actives et pas- sives diffèrent tout à fait d'un pyranomètre à l'autre. Ces capteurs sont généralement protégés par deux coupelles de verre concentriques, afin d'atténuer fortement la tension électrique générée par le rayonnement thermique parasite.

Les pyranomètres «noirs et blancs» sont d'une conception particulière. Leurs jonctions passives sont reliées thermiquement aux segments blancs, qui sont répartis régulièrement à la surface d'un récepteur relativement important. En général, une seule coupelle est utilisée pour les instruments noirs et blancs en supposant que le rayonnement thermique est absorbé de manière identique par les peintures noires et les peintures blanches.

On trouve aujourd'hui dans le commerce des pyranomètres qui s'auto-vérifient par simulation électrique de la puissance de rayonnement. Toute- fois, des «pyranomètres absolus» à cavités (corres- pondant aux «pyréliomètres absolus», voir 5.2.1) ne sont pas encore commercialisés à l'heure ac- tuelle.

Les radiomètres caractérisés par un angle d'ouver- ture de 2π et utilisant des récepteurs photoélectri- ques (cellules photovoltaïques au silicium) sont disponibles sous l'appellation de «pyranomètres-Si». Ces instruments ne répondent pas à l'heure actuelle aux exigences d'uniformité

de la sensibilité spectrale requises par la classification (voir tableau 1).

On peut employer des pyranomètres d'une conception différente de celle décrite ci-dessus, dès lors qu'ils satisfont aux exigences particulières en matière d'utilisation de l'énergie solaire. Des descriptions détaillées des différents types de pyranomètres figurent en [1], [2] et [3].

4.3 Classification

La classification des pyranomètres repose exclusivement sur les caractéristiques de mesure des instruments telles qu'elles se dégagent de la conception de l'appareil et de la qualité de sa fabrication.

NOTE 5 L'exactitude des mesures du rayonnement solaire réalisées à l'aide d'un pyranomètre dépend non seulement de la catégorie de l'instrument mais encore:

- a) de la méthode d'étalonnage,
- b) des conditions de mesurage et de l'entretien, et
- c) des conditions d'environnement.

L'incertitude globale de mesurage ne peut par conséquent être énoncée que sur une base unique tenant compte de tous les facteurs d'influence et de la catégorie de l'instrument.

Le plan de classification repose sur diverses spécifications, comme donné au tableau 1 et sur différents critères de classification, comme indiqué en 4.3.2.

Trois catégories de pyranomètres sont ainsi définies, à savoir:

- a) pyranomètres étalons secondaires;
- b) pyranomètres de première classe (englobant le groupe particulier des pyranomètres de première classe destinés aux appareils d'essai en énergie solaire);
- c) pyranomètres de seconde classe.

NOTE 6 Cette classification ne comprend pas d'étalon primaire, étant donné que la détermination la plus précise de l'éclairement énergétique global est théoriquement la somme de l'éclairement énergétique direct mesuré par un pyréliomètre absolu et de l'éclairement énergétique solaire diffus mesuré par un pyranomètre étalon secondaire pourvu d'un disque-écran.

4.3.1 Valeurs limites des caractéristiques d'un pyranomètre

On peut répartir les caractéristiques de pyranomètres dans les groupes suivants:

- a) le temps de réponse (mesure du temps d'établissement de l'indication finale qui est fonction de l'inertie thermique de la période de stabilisation);
- b) le décalage du zéro (mesure de la stabilité du point zéro spécifié par rapport à l'effet du rayonnement thermique et aux changements de température);
- c) la dépendance de la sensibilité résultant:
 - 1) des effets du vieillissement (mesure de la stabilité à long terme),
 - 2) du niveau d'éclairement énergétique (mesure de la non-linéarité),
 - 3) de l'orientation du flux incident (mesure de l'écart de sensibilité idéal par rapport à la «loi en cosinus» et mesure de la sensibilité en fonction de l'azimut de la source rayonnante),
 - 4) de la distribution spectrale de l'éclairement énergétique (mesure de la sélectivité spectrale de la sensibilité),
 - 5) de la température du bâti du pyranomètre, et
 - 6) de l'angle d'inclinaison de la surface réceptrice.

Une exigence est satisfaite dès lors que le résultat moyen de l'essai applicable ne dépasse pas la valeur limite correspondante donnée au tableau 1, compte tenu de la catégorie de l'instrument.

Les caractéristiques données au tableau 1 doivent être vérifiées par des essais. L'annexe A contient des informations supplémentaires concernant les différents points de la caractéristique.

NOTES

7 Le tableau 1 a été conçu d'après la classification correspondante, établie par l'OMM, qui définit également trois catégories de pyranomètres, c'est-à-dire étalon secondaire, pyranomètre de première classe et pyranomètre de seconde classe. Les valeurs limites données au tableau 1 sont dans certains cas plus sévères que celles du tableau correspondant de l'OMM, compte tenu des exigences applicables aux essais dans le domaine de l'énergie solaire et des améliorations récentes survenues dans les techniques de mesure.

8 Le «pyranomètre de première classe destiné aux essais dans le domaine de l'énergie solaire» est défini en 4.3.2.

9 Une norme internationale traitant des méthodes d'essai des caractéristiques des pyranomètres est en préparation.

Tableau 1 — Liste de caractéristiques du pyranomètre

N° de référence	Caractéristique	Catégorie du pyranomètre		
		Étalon secondaire	Première classe	Seconde classe
1	Temps de réponse: 95 % du signal	< 15 s	< 30 s	< 60 s
2	Décalage du zéro:			
	a) réponse à un rayonnement thermique net de $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (avec ventilation) b) réponse à un changement de $5\text{K}\cdot\text{h}^{-1}$ de la température ambiante	+ $7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ $\pm 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	+ $15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ $\pm 4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	+ $30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ $\pm 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
3a	Stabilité: variation en pourcentage de la sensibilité par an	$\pm 0,8 \%$	$\pm 1,5 \%$	$\pm 3 \%$
3b	Non-linéarité: écart en pourcentage de la sensibilité à $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ dû à une différence d'éclairement énergétique entre $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 0,5 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 3 \%$
3c	Réponse en direction (pour rayonnement direct): étendue des erreurs de mesurage faites en mesurant dans une direction quelconque un rayonnement dont l'éclairement énergétique sous incidence normale est égal à $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et en supposant que la réponse de l'appareil pour cette direction est égale à sa réponse pour une incidence normale	$\pm 10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
3d	Sélectivité spectrale: pourcentage d'écart du produit du coefficient d'absorption spectrale par le facteur de transmission spectrale par rapport à la moyenne correspondante entre $0,35 \mu\text{m}$ et $1,5 \mu\text{m}$	$\pm 3 \%$	$\pm 5 \%$	$\pm 10 \%$
3e	Réponse en température: pourcentage d'écart dû à un changement de température ambiante dans un intervalle de 50 K	2 %	4 %	8 %
3f	Réponse en inclinaison: pourcentage d'écart par rapport à la sensibilité à 0° d'inclinaison dû à un changement d'inclinaison compris entre 0° et 90° pour un éclairement énergétique de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 0,5 \%$	$\pm 2 \%$	$\pm 5 \%$

Un pyranomètre appartient à une catégorie donnée si les huit caractéristiques (tableau 1) de la catégorie respective sont observées et si la classification est conforme aux critères donnés en 4.3.2 et 4.3.3.

4.3.2 Critères de classification

La classification des pyranomètres peut être appliquée aux instruments individuels ou à un groupe d'instruments (types particuliers), selon la catégorie.

La classification d'un pyranomètre comme **étalon secondaire** ne peut être réalisée qu'individuellement pour chaque instrument répondant aux critères du tableau 1.

La classification comme **pyranomètre de première** ou **de seconde classe** peut être obtenue soit pour un instrument individuel soit pour un type de pyranomètre (appareils de conception identique) qui posséderait les caractéristiques requises. Un type de pyranomètre peut prétendre appartenir à une catégorie donnée, si des mesures appropriées de maîtrise de la qualité garantissent que chaque pyranomètre répond aux caractéristiques requises.

D'autres pyranomètres peuvent être classés parmi les **pyranomètres de première classe à des fins d'essais effectués dans le domaine de l'énergie solaire**, si leurs caractéristiques de réponse azimutale et en cosinus sont conformes au tableau 1, instru-

ments de première classe et ce, pour chaque instrument.

4.3.3 Identification de la classification

La classification d'un pyranomètre donné doit être indiquée par un étiquetage approprié de l'instrument et un certificat d'essai délivré par le laboratoire émetteur. Le laboratoire d'essai doit être agréé par l'ISO.

5 Instruments de mesurage du rayonnement solaire direct — Pyrhéliomètres

5.1 Conception d'ensemble

Les éléments principaux d'un pyrhéliomètre sont les suivants:

- le capteur thermique dont la surface réceptrice plane est peinte en noir ou bien qui possède une cavité pour absorber le rayonnement incident;
- le tube limiteur de champ optique (tube à diaphragme) de l'angle d'ouverture qui définit la géométrie optique {la longueur l du tube, le rayon r_a du diaphragme et le rayon r_r de la surface réceptrice déterminent l'angle d'ouverture $2 \arctan (r_a/l)$ et l'angle de pente $\arctan [(r_a - r_r)/l]$ };
- la monture réglable qui permet au pyrhéliomètre soit de suivre le soleil dans sa course soit d'être pointé dans sa direction. (La monture réglable peut par sa conception faire partie intégrante de l'instrument ou être un dispositif à part autorisant dans ce cas l'utilisation d'un système approprié de poursuite du soleil.)

Afin de ramener les exigences d'exactitude du dispositif de poursuite du soleil et de la longueur de tube à des proportions pratiques, l'angle de pente des pyrhéliomètres disponibles dans le commerce est de l'ordre de 1° , tandis que l'angle d'ouverture est d'environ 5° pour les pyrhéliomètres de conception récente et peut atteindre environ 15° sur des instruments plus anciens.

Comme le disque solaire, vu de la Terre, a un diamètre de $32'$, une grande part de l'auréole variable selon l'importance des aérosols atmosphériques est incluse dans les mesurages du rayonnement solaire direct (voir 3.3).

La surface réceptrice des pyrhéliomètres utilisés pour des mesures continues sur le terrain est protégée de la boue, des insectes, du vent et des autres intempéries par une fenêtre en quartz ou un système de ventilation.

Des descriptions détaillées des différents types de pyrhéliomètres figurent en [1], [2] et [3].

5.2 Types

5.2.1 Pyrhéliomètre absolu

Un pyrhéliomètre absolu permet en premier lieu une matérialisation de l'échelle d'éclairement énergétique.

NOTE 10 Il est nécessaire de soumettre les caractéristiques d'un tel instrument à un examen attentif par le biais de mesures en laboratoire et de calculs mathématiques, pour que l'on puisse déterminer les écarts par rapport à un comportement idéal. Cette procédure porte le nom de «caractérisation» de l'instrument et donne un coefficient de réduction permettant de convertir les signaux de sortie en données d'éclairement énergétique. L'incertitude de ce coefficient détermine l'exactitude absolue de l'instrument.

Les pyrhéliomètres absolus de conception récente comprennent des cavités en guise de récepteurs et des fluxmètres différentiels étalonnés électriquement en guise de capteurs. Ils fonctionnent en mode «actif» ou «passif». En mode actif, le flux thermique demeure à un niveau constant pendant le masquage et l'irradiation; la différence de puissance électrique entre les deux phases est proportionnelle à la puissance du rayonnement. En mode passif, le chauffage électrique n'intervient que durant la phase de masquage. Dans la pratique, lorsque le pyrhéliomètre est en mode actif, les mesurages du rayonnement seront périodiquement interrompus pendant les phases de masquage des séries de mesures, tandis qu'en mode passif la phase de masquage précédera la série de mesures.

5.2.2 Pyrhéliomètre à compensation

Bon nombre de centres nationaux et régionaux d'étude du rayonnement utilisent encore couramment des pyrhéliomètres de conception plus ancienne (sans cavité) dans lesquels la puissance du rayonnement incident est remplacée par un courant électrique. Ces instruments doivent être étalonnés.

Le pyrhéliomètre à compensation d'Angström, par exemple, est doté de deux récepteurs adjacents logés dans un seul tube, qui fonctionnent en alternance, l'un des récepteurs est irradié par le soleil, pendant que l'autre est masqué et chauffé électriquement. Cela signifie que, durant la phase de masquage d'un récepteur, on peut obtenir la valeur du rayonnement mesuré.

5.2.3 Pyrhéliomètres sans énergie électrique de substitution

Ces pyrhéliomètres sont des «instruments relatifs» et leurs détecteurs sont généralement des thermopiles. Ils autorisent un enregistrement