

Novembre 2005

ICS 27.160

Destiné à remplacer EN 12975-2:2001

Version Française

Installations solaires thermiques et leurs composants - Capteurs solaires - Partie 2 : Méthode d'essai

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kollektoren -
Teil 2: Prüfverfahren

Thermal solar systems and components - Solar collectors -
Part 2: Test methods

Le présent projet de Norme européenne est soumis aux membres du CEN pour vote formel. Il a été établi par le Comité Technique CEN/TC 312.

Si ce projet devient une Norme européenne, les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

Le présent projet de Norme européenne a été établi par le CEN en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

Avertissement : Le présent document n'est pas une Norme européenne. Il est diffusé pour examen et observations. Il est susceptible de modification sans préavis et ne doit pas être cité comme Norme européenne



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Centre de Gestion: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

Sommaire

Page

Avant-propos.....	6
Introduction	7
1 Domaine d'application.....	9
2 Références normatives.....	9
3 Termes et définitions.....	9
4 Symboles et unités.....	10
5 Essais de fiabilité des capteurs à circulation de liquide	13
5.1 Généralités.....	13
5.2 Essais de pression interne pour les absorbeurs.....	14
5.2.1 Absorbeurs inorganiques.....	14
5.2.2 Absorbeurs constitués de matériaux organiques (plastiques ou élastomères)	14
5.3 Essai de résistance aux températures élevées.....	17
5.3.1 Objectif.....	17
5.3.2 Appareillage et mode opératoire	17
5.3.3 Conditions d'essai.....	17
5.3.4 Résultats	18
5.4 Essai d'exposition	18
5.4.1 Objectif.....	18
5.4.2 Appareillage et mode opératoire	18
5.4.3 Conditions d'essai.....	18
5.4.4 Résultats	19
5.5 Essai de choc thermique externe	19
5.5.1 Objectif.....	19
5.5.2 Appareillage et mode opératoire	19
5.5.3 Conditions d'essai.....	20
5.5.4 Résultats	20
5.6 Essai de choc thermique interne	20
5.6.1 Objectif.....	20
5.6.2 Appareillage et mode opératoire	20
5.6.3 Conditions d'essai.....	21
5.6.4 Résultats	21
5.7 Essai d'étanchéité à l'eau de pluie	21
5.7.1 Objectif.....	21
5.7.2 Appareillage et procédure	21
5.7.3 Conditions d'essai	22
5.7.4 Résultats	23
5.8 Essai de résistance au gel.....	23
5.8.1 Objectif.....	23
5.8.2 Appareillage et mode opératoire	23
5.8.3 Conditions d'essai.....	24
5.8.4 Résultats	24
5.9 Essai de charge mécanique.....	24
5.9.1 Essai de pression positive de la couverture du capteur.....	24
5.9.2 Essai de dépression du capteur	25
5.10 Essai de résistance au choc	26
5.10.1 Objectif.....	26
5.10.2 Appareillage et mode opératoire	26
5.10.3 Conditions d'essai.....	28
5.10.4 Résultats	28

5.11	Contrôle final	28
5.12	Rapport d'essai.....	28
6	Essai des performances thermiques des capteurs à circulation de liquide	28
6.1	Capteurs solaires vitrés dans des conditions d'état stationnaire (y compris la perte de charge).....	28
6.1.1	Montage et emplacement des capteurs.....	28
6.1.2	Instrumentation.....	30
6.1.3	Installation d'essai	35
6.1.4	Essai de rendement à l'état stationnaire à l'extérieur	39
6.1.5	Essai de rendement à l'état stationnaire à l'aide d'un simulateur d'irradiance solaire.....	43
6.1.6	Détermination de la capacité thermique effective et de la constante de temps d'un capteur.....	46
6.1.7	Facteur d'angle d'incidence du capteur.....	48
6.1.8	Détermination de la perte de charge dans un capteur	51
6.2	Capteurs solaires sans vitrage dans des conditions d'état stationnaire (y compris la perte de charge).....	51
6.2.1	Montage et emplacement des capteurs.....	51
6.2.2	Instrumentation.....	53
6.2.3	Installation d'essai	55
6.2.4	Essai de rendement à l'état stationnaire à l'extérieur	55
6.2.5	Essai de rendement à l'état stationnaire à l'aide d'un simulateur d'irradiance solaire.....	60
6.2.6	Détermination de la capacité thermique effective et de la constante de temps d'un capteur.....	61
6.2.7	Facteur d'angle d'incidence (facultatif)	61
6.3	Capteurs solaires vitrés et sans vitrage dans des conditions quasi-dynamiques	63
6.3.1	Montage et emplacement des capteurs.....	63
6.3.2	Instrumentation.....	64
6.3.3	Installation d'essai	65
6.3.4	Essai de rendement à l'extérieur.....	65
6.3.5	Détermination de la capacité thermique effective	74
6.3.6	Facteur d'angle d'incidence du capteur.....	74
Annexe A (normative)	Schémas applicables aux essais de durabilité et de fiabilité	76
Annexe B (normative)	Schéma de principe pour les rapports d'essai de durabilité et de fiabilité	91
B.1	Enregistrement de la séquence d'essais et résumé des principaux résultats.....	91
B.2	Essai de pression interne pour les absorbeurs métalliques.....	92
B.2.1	Détails techniques relatifs au capteur.....	92
B.2.2	Conditions d'essai	92
B.2.3	Résultats d'essai.....	92
B.3	Essai de pression interne pour les absorbeurs constitués de matériaux organiques	93
B.3.1	Détails techniques relatifs au capteur.....	93
B.3.2	Conditions d'essai	93
B.3.3	Résultats d'essai.....	94
B.4	Essai de résistance aux températures élevées.....	95
B.4.1	Méthode utilisée pour réchauffer les capteurs.....	95
B.4.2	Conditions d'essai	95
B.4.3	Résultats d'essai.....	95
B.5	Essai d'exposition.....	96
B.5.1	Conditions d'essai	96
B.5.2	Résultats d'essai.....	96
B.5.3	Conditions climatiques de l'ensemble des journées d'essai	97
B.5.4	Résultats du contrôle.....	99
B.6	Essai de choc thermique externe : Premier choc.....	100
B.6.1	Conditions d'essai	100
B.6.2	Résultats d'essai.....	101
B.7	Essai de choc thermique externe :	102
B.7.1	Conditions d'essai	102
B.7.2	Résultats d'essai.....	103
B.8	Essai d'étanchéité à l'eau de pluie.....	104

B.8.1	Conditions d'essai.....	104
B.8.2	Résultats d'essai	104
B.9	Essai de résistance au gel.....	105
B.9.1	Type de capteur.....	105
B.9.2	Conditions d'essai.....	105
B.10	Essai de charge mécanique.....	106
B.10.1	Essai de pression positive de la couverture du capteur.....	106
B.10.2	Essai de pression négative des fixations entre la couverture et le boîtier du capteur.....	106
B.10.3	Essai de pression négative des montages de capteur	108
B.11	Essai de résistance au choc à l'aide de billes d'acier.....	109
B.11.1	Conditions d'essai.....	109
B.11.2	Mode opératoire	109
B.11.3	Résultats d'essai	109
B.12	Essai de résistance au choc à l'aide de boules de glace.....	110
B.12.1	Conditions d'essai.....	110
B.12.2	Mode opératoire	110
B.12.3	Résultats d'essai	110
B.13	Résultats du contrôle final	111
Annexe C (normative)	Température de stagnation des capteurs à chauffage liquide.....	112
C.1	Généralités.....	112
C.2	Détermination de la température de stagnation.....	112
Annexe D (normative)	Rapport d'essai de performances des capteurs solaires vitrés dans les conditions d'état stationnaire	113
D.1	Généralités.....	113
D.2	Description d'un capteur solaire	113
D.3	Résultats d'essai	115
Annexe E (normative)	Résumé du rapport d'essai des performances des capteurs vitrés.....	118
E.1	Généralités.....	118
E.2	Description d'un capteur solaire	118
E.3	Résultats d'essai	120
Annexe F (normative)	Modélisation des coefficients c1 à c6 du modèle de capteur décrit en 6.3	123
Annexe G (normative)	Mesurage de la capacité thermique effective	125
G.1	Installation d'essai.....	125
G.2	Mode opératoire à l'intérieur.....	125
G.2.1	Généralités.....	125
G.2.2	Mesurages.....	125
G.2.3	Calcul de la capacité thermique effective	125
G.2.4	Détermination de la capacité thermique effective à partir des données expérimentales.....	126
G.3	Mode opératoire à l'extérieur ou par simulateur de rayonnement solaire.....	127
Annexe H (informative)	Comparaison du modèle de capteur décrit en 6.1 par rapport au modèle de capteur décrit en 6.3.....	128
Annexe I (informative)	Propriétés de l'eau (voir DIN V 4757-4:1995-11).....	129
I.1	Densité de l'eau (à 1 bar) en kg/m ³	129
I.2	Capacité thermique massique de l'eau (à 1 bar) en kJ/(kg K)	129
Annexe J (informative)	Résumé du rapport d'essai de performance pour la méthode d'essai quasi-dynamique	131
Annexe K (informative)	Recommandations générales pour l'évaluation de l'incertitude des essais de rendement du capteur solaire.....	133
K.1	Introduction	133
K.2	Les incertitudes de mesure dans les essais de rendement réalisés avec un capteur solaire.....	133
K.3	Accessoires et incertitudes dans les résultats d'essai de rendement.....	135
Annexe L (informative)	Détermination de la perte de charge au niveau du capteur.....	137
L.1	Généralités.....	137

L.2	Installation d'essai	137
L.3	Conditionnement préalable du capteur.....	137
L.4	Mode opératoire.....	137
L.5	Mesures.....	138
L.6	Perte de chaleur due aux accessoires.....	138
L.7	Conditions d'essai	138
L.8	Calcul et présentation des résultats.....	138
	Bibliographie.....	139

Avant-propos

Le présent document (prEN 12975-2:2005) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 312 “Installations solaires thermiques et leurs composants”, dont le secrétariat est tenu par ELOT.

Ce document est actuellement soumis au Vote Formel.

Le présent document est destiné à remplacer l'EN 12975-2:2001.

Introduction

La présente norme spécifie les méthodes d'essai permettant de déterminer la capacité d'un capteur solaire à circulation de liquide à résister à l'influence d'agents dégradants. Elle définit des modes opératoires d'essai des capteurs dans des conditions bien définies et répétables.

La présente norme fournit également des méthodes d'essai et des méthodes de calcul permettant de déterminer les performances thermiques des capteurs solaires vitrés à circulation de liquide en régime stationnaire et quasi-stationnaire. Elle comprend des méthodes de réalisation d'essais à l'extérieur dans des conditions d'irradiance solaire naturelle et de vent naturel et simulé, ainsi que des méthodes de réalisation d'essais à l'intérieur dans des conditions de simulation de l'irradiance solaire et du vent.

La présente norme fournit également des méthodes permettant de déterminer les performances thermiques des capteurs solaires à circulation de liquide sans vitrage. Les capteurs sans vitrage sont utilisés dans la plupart des cas pour le chauffage des piscines ou autres systèmes consommateurs d'énergie à basse température. En règle générale, les capteurs sont assemblés sur place en reliant les bandes d'absorbeur à des collecteurs. Les aires réelles des absorbeurs sont généralement comprises entre 10 m² et 100 m². Des modules semi-fini préfabriqués de dimensions spécifiques sont rarement utilisés avec des absorbeurs sans vitrage. Par conséquent, il convient de s'assurer durant l'essai que les conditions de vitesse et d'écoulement sont réalistes.

La présente norme propose également des méthodes d'essai et des méthodes de calcul permettant de déterminer les paramètres de performances thermiques des capteurs solaires à circulation de liquide en régime aussi bien stationnaire que dynamique, dans des conditions climatiques variables. Elle comporte des méthodes pour réaliser des essais en extérieur pendant plusieurs jours, dans des conditions de température d'entrée fixe, d'irradiance solaire naturelle et de vent naturel et/ou simulé. Les effets qui influent sur la performance continue du capteur, tels que l'angle d'incidence, la vitesse du vent, la fraction diffuse de l'irradiance solaire, le rayonnement thermique atmosphérique ainsi que la capacité thermique sont pris en compte. La présente norme ne prend pas en compte l'influence du débit.

La proposition d'extension des méthodes actuelles d'essais en régime stationnaire à des essais en régime dynamique offre, à titre d'exemple, les avantages suivants :

- l'essai à l'extérieur, de plus courte durée et moins onéreux, est approprié aux conditions climatiques observées en Europe ;
- une gamme bien plus large de capteurs peut être testée avec la même méthode ;
- parallèlement une caractérisation plus complète du capteur est assurée ;
- le modèle de capteur demeure directement compatible avec celui des normes d'essai actuelles, et la méthode étendue proposée applique uniquement des termes correctifs ;
- tous les ajouts reposent sur la théorie des capteurs communément admise depuis bien longtemps ;
- il est possible d'établir à tout moment une comparabilité totale avec la méthode en régime stationnaire en évaluant uniquement les périodes des jours d'essai qui correspondent aux exigences d'essai en régime stationnaire ;
- le matériel d'essai utilisé est identique à celui des essais en régime stationnaire, avec uniquement des modifications peu importantes ; il permet également d'améliorer l'exactitude des essais en régime stationnaire ;

- un logiciel classique standard pour PC, tel qu'un tableur ou des progiciels de statistiques avancées avec l'option Régression linéaire multiple (RLM), peut être utilisé pour l'identification des paramètres.

1 Domaine d'application

La présente Norme européenne spécifie les méthodes d'essai applicables à la validation des exigences de durabilité, de fiabilité et de sécurité relatives aux capteurs à circulation de liquide telles que spécifiées dans le prEN 12975-1. La présente norme comprend également trois méthodes d'essai permettant de caractériser les performances thermiques des capteurs à circulation de liquide.

Elle ne s'applique pas aux capteurs dans lesquels le dispositif de stockage thermique fait partie intégrante du capteur dans la mesure où les opérations de captage et de stockage de l'énergie ne peuvent pas être séparées en vue d'effectuer des mesures de ces deux procédés.

La présente norme s'applique généralement aux capteurs solaires à concentration asservis, les essais de performances thermiques indiqués en 6.3 (essais quasi-dynamiques) s'appliquent à la plupart des capteurs à concentration, des concentrateurs fixes anydologiques tels que les capteurs CPC aux capteurs suiveurs à forte concentration. Il convient d'ajuster une partie de la mesure du rayonnement solaire dans le cas d'un capteur suiveur et dans le cas d'un pyréliomètre, une partie de mesure du rayonnement solaire est utilisé pour mesurer le rayonnement des faisceaux.

La durabilité, la fiabilité et les performances thermiques des capteurs fabriqués à façon (par exemple capteurs intégrés à une toiture qui ne sont pas composés de modules fabriqués en usine et qui sont assemblés directement sur le lieu d'installation) ne peuvent pas, dans la forme actuelle de ces capteurs, être contrôlées conformément à la présente norme. Un module ayant la même structure que le capteur monté peut être soumis à essai en ses lieu et place. Il convient que la superficie hors-tout de ces modules soit au moins de 2 m². L'essai n'est valable que pour des capteurs plus grands que ceux des modèles soumis à essai.

2 Références normatives

Les documents de référence suivant 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).

EN 1991 (toutes les parties), *Eurocode 1 : Actions sur les structures*.

prEN 12975-1:2005, *Installations solaires thermiques et leurs composants - Capteurs solaires - Partie 1 : Exigences générales*.

EN ISO 9488:1999, *Énergie solaire - Vocabulaire (ISO 9488:1999)*.

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions **donnés dans** l'EN ISO 9488:1999 s'appliquent.

4 Symboles et unités

a_1	coefficient de perte thermique à $(T_m - T_a)=0$	$Wm^{-2}K^{-1}$
a_2	dépendance de la température du coefficient de perte thermique	$Wm^{-2}K^{-2}$
A_A	aire de l'absorbeur du capteur	m^2
A_a	superficie d'entrée du capteur	m^2
A_G	superficie hors-tout du capteur	m^2
AM	masse optique de l'air	
b_u	coefficient de rendement du capteur (en fonction du vent)	$m^{-1} s$
b_o	constante pour le calcul du facteur d'angle d'incidence	
b_1	coefficient de perte thermique $(T_m - T_a)=0$	$Wm^{-2}K^{-1}$
b_2	coefficient de rendement du capteur	$Wsm^{-3}K^{-1}$
c_1	coefficient de perte thermique à $(T_m - T_a) = 0$	$Wm^{-2}K^{-1}$
c_2	coefficient de perte thermique en fonction de la température	$Wm^{-2}K^{-2}$
c_3	coefficient de perte thermique en fonction de la vitesse du vent	$Jm^{-3}K^{-1}$
c_4	coefficient de perte thermique en fonction de la température du ciel	$Wm^{-2}K^{-1}$
c_5	capacité thermique effective	$J m^{-2}K^{-1}$
c_6	rendement optique en fonction du vent	sm^{-1}
c_f	capacité thermique massique du fluide caloporteur	$Jkg^{-1}K^{-1}$
C	capacité thermique effective du capteur	JK^{-1}
D	date	JJMMAA
E_L	irradiance de grandes longueurs d'onde ($k > 3 \mu m$)	Wm^{-2}
E_β	irradiance de grandes longueurs d'onde sur une surface inclinée extérieure	Wm^{-2}
E_s	irradiance de grandes longueurs d'onde	Wm^{-2}
F	facteur de forme de rayonnement	
F'	efficacité de captage	
G	irradiance solaire hémisphérique	Wm^{-2}

G^*	irradiance solaire hémisphérique globale	Wm^{-2}
G''	irradiance nette	Wm^{-2}
G_b	irradiance solaire directe (irradiance directe)	Wm^{-2}
G_d	irradiance solaire diffuse	Wm^{-2}
LT	heure locale	h
K_θ	facteur d'angle d'incidence	
K_{eb}	facteur d'angle d'incidence pour un rayonnement direct	
K_{ed}	facteur d'angle d'incidence pour un rayonnement diffus	
m	masse thermiquement active du capteur	kg
$\dot{m}$	débit massique du fluide caloporteur	kgs^{-1}
$\dot{Q}$	puissance utile «extraite» du capteur	W
$\dot{Q}_L$	perte du capteur	W
SF	facteur de sécurité	
t	temps	s
t_a	température de l'air ambiant ou environnant	$^{\circ}\text{C}$
t_{dp}	température atmosphérique du point de rosée	$^{\circ}\text{C}$
t_e	température à la sortie du capteur	$^{\circ}\text{C}$
t_{in}	température à l'entrée du capteur	$^{\circ}\text{C}$
t_m	température moyenne du fluide caloporteur	$^{\circ}\text{C}$
t_s	température atmosphérique ou du ciel	$^{\circ}\text{C}$
t_{stg}	température de stagnation	$^{\circ}\text{C}$
T	température absolue	K
T_a	température de l'air ambiant ou environnant	$^{\circ}\text{C}$
T_m^*	différence de température réduite ($= (t_m - t_a)/G^*$)	m^2KW^{-1}
T_s	température de rayonnement diffus atmosphérique ou équivalent	K

U	coefficient de perte thermique globale mesurée du capteur, avec référence à T_m^*	$Wm^{-2}K^{-1}$
U_L	coefficient de perte thermique globale d'un capteur avec température uniforme de l'absorbeur t_m	$Wm^{-2}K^{-1}$
u	vitesse de l'air environnant	ms^{-1}
V_f	contenance en fluide capacité du capteur en fluide	m^3
Δp	différence de pression entre l'entrée et la sortie du fluide	Pa
Δt	intervalle de temps	s
ΔT	différence de température entre la sortie et l'entrée du fluide ($t_e - t_{in}$)	K
a	absorption solaire	
β	inclinaison d'un plan par rapport à l'horizontale	degrés
γ	azimut	degrés
ε	émittance hémisphérique	
ω	angle horaire du Soleil	degrés
θ	angle d'incidence	degrés
Φ	latitude	degrés
λ	longueur d'onde	μm
η	rendement du capteur, avec référence à T_m^*	
η_o	rendement optique du capteur (g à $T_m^* = 0$), référence à T_m^*	
σ	constante de Stefan-Boltzmann	$Wm^{-2}K^{-4}$
ρ	masse volumique du fluide caloporteur	kgm^{-3}
τ_c	constante de temps du capteur	s
τ	transmittance	
$(\tau\alpha)_e$	produit transmittance-absorptance effectif	
$(\tau\alpha)_{ed}$	produit transmittance-absorptance effectif pour un rayonnement solaire diffus	
$(\tau\alpha)_{en}$	produit transmittance-absorptance effectif pour un rayonnement solaire direct sous une incidence normale	
$(\tau\alpha)_{eh}$	produit transmittance-absorptance effectif pour un rayonnement solaire direct à l'angle d'incidence θ	

NOTE 1 Le symbole G est utilisé en énergie solaire pour indiquer l'irradiance solaire, en lieu et place du symbole générique E pour l'irradiance.

NOTE 2 C apparaît souvent sous la forme $(\eta C)_e$ dans la documentation de référence y afférant (voir également l'Annexe F).

NOTE 3 Se reporter à l'Annexe F pour de plus amples informations concernant les coefficients (paramètres) de performances thermiques c_1 à c_6 .

5 Essais de fiabilité des capteurs à circulation de liquide

5.1 Généralités

Les détails relatifs au nombre de capteurs et séquences utilisés pour les tests de qualification décrits ci-après doivent être renseignés dans le rapport.

Certains essais de qualification peuvent nécessiter d'intervenir d'une certaine manière sur une partie du capteur, par exemple par le percement d'un trou au dos du capteur afin de fixer une sonde de température sur l'absorbeur. Dans ces cas, il convient de s'assurer que cette intervention n'affecte pas les résultats des essais de qualification ultérieurs, par exemple en autorisant la pénétration d'eau dans un capteur antérieurement étanche à la pluie.

Tableau 1

Paragraphe	Essai
5.2	Pression interne
5.3	Résistance aux températures élevées ^{a,b}
5.4	Exposition ^b
5.5	Choc thermique externe ^c
5.6	Choc thermique interne ^c
5.7	Étanchéité à l'eau de pluie ^d
5.8	Résistance au gel ^e
5.9	Charge mécanique
5.10	Résistance au choc (essai optionnel)
6.1-6.2-6.3	Performances thermiques ^f
^a Pour les absorbeurs organiques, l'essai de résistance aux températures élevées doit être effectué en premier afin de déterminer la température de stagnation du capteur, paramètre nécessaire à l'essai de pression interne. ^b Les essais à haute température et d'exposition doivent être effectués sur le même capteur. ^c Les deux essais de choc thermique, externe et interne, peuvent être combinés à l'essai d'exposition ou à l'essai de résistance aux températures élevées. ^d L'essai d'étanchéité à l'eau de pluie doit être effectué uniquement pour les capteurs vitrés. ^e L'essai de résistance au gel doit être effectué uniquement pour les capteurs déclarés résistants au gel. ^f L'essai de performance thermique doit être effectué sur un capteur qui n'a pas été utilisé pour d'autres essais.	

NOTE Concernant la durabilité et la fiabilité des matériaux élastiques, il est recommandé de se référer à l'ISO 9808 et l'ISO 9553.

5.2 Essais de pression interne pour les absorbeurs

5.2.1 Absorbeurs inorganiques

5.2.1.1 Objectif

L'absorbeur doit être soumis à l'essai de pression afin d'évaluer le niveau potentiel de pression de service auquel il peut résister.

5.2.1.2 Appareillage et mode opératoire

L'appareillage, représenté à la Figure A.1, se compose d'une source de pression hydraulique (pompe électrique ou pompe à main), d'une soupape de sûreté, d'une soupape de purge et d'un manomètre ayant une incertitude type supérieur à 5 %. Utiliser la soupape de purge pour évacuer tout l'air contenu dans l'absorbeur avant pressurisation. L'absorbeur inorganique doit être rempli d'eau à la température ambiante et soumis à la pression d'essai pendant la période requise (voir en 5.2.1.3.2). Maintenir la pression pendant que l'absorbeur fait l'objet d'un contrôle afin de déterminer tout gonflement, toute déformation ou toute rupture.

5.2.1.3 Conditions d'essai

5.2.1.3.1 Température

Les absorbeurs inorganiques doivent être soumis à un essai de pression (voir en 5.2.1.3.2) à la température ambiante dans la plage comprise entre 5 °C et 30 °C.

5.2.1.3.2 Pression

La pression d'essai doit être égale à 1,5 fois la pression de service maximale du capteur spécifiée par le fabricant.

Elle doit être maintenue pendant 15 min.

5.2.1.4 Résultats

Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle afin de déterminer toute fuite, tout gonflement et toute déformation. Les résultats de ce contrôle doivent être consignés ainsi que les valeurs de pression et de température utilisées, et la durée de l'essai.

5.2.2 Absorbeurs constitués de matériaux organiques (plastiques ou élastomères)

5.2.2.1 Objectif

L'absorbeur doit être soumis à un essai de pression (voir en 5.2.1.3.2) afin d'évaluer le niveau potentiel de pression auquel il peut résister en service à une température élevée. Les essais doivent être effectués à des températures élevées étant donné que la résistance à la pression d'un absorbeur organique peut être affectée par l'augmentation de sa température. Une des méthodes décrites dans les sections 5.2.2.2.2 à 5.2.2.2.4 peut être choisie.

5.2.2.2 Appareillage et mode opératoire

5.2.2.2.1 Généralités

L'appareillage se compose d'une source de pression hydraulique ou pneumatique et d'un dispositif de réchauffage de l'absorbeur à la température d'essai requise.

Les caractéristiques d'un simulateur d'irradiance solaire doivent être identiques aux caractéristiques du simulateur utilisé pour les essais de rendement des capteurs solaires à circulation de liquide.

Une sonde de température doit être attachée sur l'absorbeur afin de surveiller la température de ce dernier au cours de l'essai. La sonde doit être placée aux deux tiers de la hauteur et à mi-largeur de l'absorbeur. Elle doit être fixée solidement de manière à assurer un contact thermique correct avec l'absorbeur, et à la protéger contre le rayonnement solaire.

Les conditions d'essai spécifiées en 5.2.2.3 doivent être maintenues pendant au moins 30 min avant d'effectuer l'essai puis pendant toute la durée de ce dernier. La pression au niveau de l'absorbeur doit être augmentée de manière progressive comme spécifié en 5.2.2.3. L'absorbeur doit être soumis à un contrôle pour déterminer tout gonflement, toute déformation ou toute rupture après chaque augmentation de la pression. La pression doit être maintenue pendant toute la période de contrôle de l'absorbeur.

Pour des raisons de sécurité, le capteur doit être enfermé dans un boîtier transparent afin de protéger le personnel contre tout risque d'explosion au cours de l'essai.

Une des méthodes décrites dans les sections 5.2.2.2.2 à 5.2.2.2.4 peut être choisie.

5.2.2.2.2 Absorbeurs organiques destinés à être utilisés avec des capteurs sans vitrage (température d'essai < 90 °C)

Lorsque la température d'essai maximale est inférieure à 90 °C, les absorbeurs peuvent être immergés dans un bain-marie chauffé puis soumis à un essai de pression. Le dispositif d'alimentation de l'absorbeur en fluide pressurisé doit comporter une soupape de sûreté, une soupape de purge (le cas échéant) et un manomètre d'une incertitude type supérieure à 5 %. L'appareillage est représenté à la Figure A.2.

5.2.2.2.3 Absorbeurs organiques destinés à être utilisés avec des fluides à base d'huile (température d'essai > 90 °C)

Lorsque la température d'essai est supérieure à 90 °C, l'absorbeur peut être relié à un circuit d'huile chaude. L'absorbeur et le circuit d'huile chaude sont ensuite pressurisés. Le circuit d'huile chaude doit comporter une soupape de sûreté, une soupape de purge et un manomètre d'une incertitude type supérieure que 5 %.

L'absorbeur peut être chauffé selon l'une des méthodes suivantes :

- a) raccordement d'un chauffage au niveau du circuit d'huile (voir Figure A.3) ;
- b) chauffage de l'ensemble du capteur dans un simulateur d'irradiance solaire (voir Figure A.4) ;
- c) chauffage de l'ensemble du capteur à l'extérieur dans des conditions d'irradiance solaire naturelle (voir Figure A.4).

Il convient de prendre des mesures de sécurité visant à protéger le personnel contre tout contact avec l'huile chaude en cas de risque d'explosion au cours de l'essai.

5.2.2.2.4 Absorbours organiques — Essai de pression pneumatique à des températures élevées

L'absorbours peut être soumis à l'essai de pression en utilisant de l'air comprimé, lorsqu'il est chauffé selon l'une des méthodes suivantes :

- a) chauffage de l'ensemble du capteur dans un simulateur d'irradiance solaire (voir Figure A.5) ;
- b) chauffage de l'ensemble du capteur à l'extérieur dans des conditions d'irradiance solaire naturelle (voir Figure A.5).

Le dispositif d'alimentation de l'absorbours en air comprimé doit comporter une soupape de sûreté et un manomètre d'une incertitude de type supérieure à 5 %.

5.2.2.3 Conditions d'essai

5.2.2.3.1 Température

La température d'essai des absorbours constitués de matériaux organiques doit être la température maximale atteinte par l'absorbours dans des conditions de stagnation.

Les conditions de référence indiquées dans le Tableau 2 doivent être utilisées.

Les calculs utilisés pour déterminer la température d'essai sont inclus dans l'Annexe C et doivent se fonder :

- sur les caractéristiques de performances mesurées du capteur ; ou
- sur une extrapolation des valeurs moyennes, mesurées lors de l'essai de résistance à des températures élevées (voir en 5.3.3) d'irradiance solaire globale (naturelle ou simulée) sur le plan du capteur, de la température de l'air environnant et de la température de l'absorbours.

Tableau 2 — Conditions climatiques de référence permettant de déterminer les températures d'essai pour l'essai de pression interne des absorbours organiques

Condition climatique	Valeur pour toutes les classes climatiques
Irradiance solaire global sur le plan du capteur, G en W/m^2	1 000
Température de l'air environnant, t_a en $^{\circ}C$	30

5.2.2.3.2 Pression

La pression d'essai doit être égale à 1,5 fois la pression de service maximale du capteur spécifiée par le fabricant.

Pour les absorbours constitués de matériaux organiques, la pression doit être portée à sa valeur d'essai par paliers égaux de 20 kPa (environ) et maintenue à chaque palier intermédiaire pendant 5 min. La pression d'essai doit alors être maintenue pendant au moins 1 h.

5.2.2.4 Résultats

Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle afin de déterminer toute fuite, tout gonflement et toute déformation. Les résultats du contrôle doivent être consignés.

Les détails complets du mode opératoire utilisé, y compris la température, les pressions intermédiaires et les périodes d'essai, doivent être consignés avec les résultats d'essai.

5.3 Essai de résistance aux températures élevées

5.3.1 Objectif

Le présent essai a pour objet d'évaluer rapidement si un capteur peut résister à des niveaux d'irradiance élevés sans faire l'objet d'une défaillance telle que bris de verre, affaissement de la couverture en plastique, fusion de l'absorbeur plastique ou dépôts importants sur la couverture du capteur dus à une émission de gaz du matériau constitutif du capteur.

5.3.2 Appareillage et mode opératoire

Soumettre le capteur à l'essai à l'extérieur ou dans un simulateur d'irradiance solaire. Une configuration d'essai est présentée à la Figure A.6.

Les caractéristiques du simulateur d'irradiance solaire devant être utilisé pour l'essai de résistance à des températures élevées doivent être identiques aux caractéristiques du simulateur de même type utilisé pour l'essai de rendement des capteurs solaires à circulation de liquide.

Monter le capteur à l'extérieur ou dans un simulateur solaire, sans le remplir de fluide. Obturer tous les conduits du capteur, sauf un, afin de prévenir tout refroidissement par circulation naturelle d'air, mais ne pas obturer l'autre pour permettre à l'air de s'écouler librement dans l'absorbeur.

Fixer une sonde de température sur l'absorbeur afin de surveiller la température de ce dernier au cours de l'essai. Placer la sonde aux deux tiers de la hauteur et à mi-largeur de l'absorbeur. La fixer solidement de manière à assurer un contact thermique correct avec l'absorbeur. Protéger également la sonde contre l'irradiance solaire.

NOTE 1 Lors de l'essai de capteurs tels que les capteurs à tubes sous vide, dont il n'est pas approprié de mesurer la température de stagnation au niveau de l'absorbeur, il convient de placer la sonde de température en un point adéquat du capteur, ledit point étant généralement à décrire de manière explicite avec les résultats d'essai.

NOTE 2 Pour certains capteurs, tels que les capteurs sous vide, il peut se révéler difficile de fixer un thermocouple sur l'absorbeur. Dans ce cas, le laboratoire d'essai, plutôt que de procéder ainsi, peut remplir partiellement l'absorbeur d'un fluide spécial, le sceller et mesurer la pression interne. La relation entre la pression interne dans l'absorbeur et la température de celui-ci est généralement déduite de la relation classique pression/température de vapeur relative au fluide.

NOTE 3 Il est recommandé d'effectuer la détermination de stagnation de la température avec l'essai de résistance à la température la plus élevée.

La durée minimale de l'essai doit être de 1 h une fois les conditions d'état stationnaire établies, et le capteur doit ensuite faire l'objet d'un contrôle permettant de déceler tout signe d'endommagement de la manière spécifiée en 5.3.4.

5.3.3 Conditions d'essai

L'ensemble des conditions de référence indiqué dans le Tableau 3, ou les conditions ayant pour résultat la même température de capteur selon l'équation C.1, doit être utilisé pour toutes les classes climatiques.

Tableau 3 — Conditions climatiques de référence pour l'essai de résistance aux températures élevées

Condition climatique	Valeur pour toutes les classes climatiques
Irradiance solaire global sur le plan du capteur, G en W/m^2	$> 1\,000$
Température de l'air environnant, t_a en $^{\circ}C$	20 - 40
Vitesse de l'air environnant, en m/s	< 1

5.3.4 Résultats

Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle pour déceler toute dégradation ou toute déformation, tout retrait ou toute émission de gaz.

Les résultats du contrôle doivent être consignés accompagnés des valeurs moyennes enregistrées de l'irradiance solaire (naturelle ou simulée) sur le plan du capteur, de la température et de la vitesse de l'air environnant, ainsi que de la température de l'absorbeur (et de la pression du fluide spécial dans l'absorbeur, lorsque cette méthode est utilisée).

5.4 Essai d'exposition

5.4.1 Objectif

L'essai d'exposition prévoit une série peu coûteuse d'essais de fiabilité, indiquant (ou simulant) les conditions de fonctionnement susceptibles d'être réunies en service réel, et permettant au capteur de se stabiliser, de sorte que les essais de qualification ultérieurs soient davantage en mesure de donner des résultats répétitifs.

5.4.2 Appareillage et mode opératoire

Monter le capteur à l'extérieur (voir Figure A.7) sans le remplir de fluide. Obturer l'un des tubes de fluide afin de prévenir tout refroidissement par circulation naturelle de l'air. Ne pas obturer un des tubes afin de permettre à l'air de s'écouler librement dans l'absorbeur.

Enregistrer la température de l'air à ± 1 K près et consigner également l'irradiance globale sur le plan du capteur au moyen d'un pyranomètre de Classe I, ou mieux encore, conformément à l'ISO 9060. Enregistrer au moins toutes les cinq minutes, les valeurs d'irradiance et de température moyenne de l'air toutes les 30 min et les précipitations tous les jours. Le capteur doit être exposé jusqu'à ce que les conditions d'essai aient été remplies.

Au terme de l'exposition, soumettre le capteur à un contrôle visuel permettant de déterminer tout signe d'endommagement de la manière spécifiée en 5.4.4.

5.4.3 Conditions d'essai

L'ensemble des conditions de référence indiquées dans le Tableau 4 doit être utilisé.

Le capteur doit être exposé pendant une durée minimale de 30 j (pas nécessairement consécutifs) sous l'irradiation minimale H indiquée dans le Tableau 4. L'irradiation est déterminée par la consignation des mesurages d'irradiance au moyen d'un pyranomètre.

Le capteur doit également être exposé pendant une durée minimale de 30 h au niveau d'irradiance minimal G indiqué dans le Tableau 4 et enregistré par le pyranomètre, lorsque la température de l'air environnant est supérieure à la valeur indiquée dans le Tableau 4, ou conditions ayant pour résultat la même température du capteur selon l'équation C.1. Cette durée doit être constituée de périodes minimales de 30 min.

NOTE Dans les régions où ces conditions ne peuvent être observées pendant certaines périodes de l'année, l'exposition d'une durée de 30 h à des niveaux d'irradiance élevés (Tableau 4) peut se faire dans un simulateur de d'irradiance solaire dont les caractéristiques sont identiques à celles d'un simulateur utilisé pour les essais de rendement des capteurs solaires à circulation de liquide. L'essai d'exposition d'une durée de 30 h est généralement réalisé après que le capteur aura été exposé au moins pendant 10 j, sans toutefois dépasser 15 j, au niveau d'irradiation minimal (Tableau 4).

Lorsque les essais de choc thermique externe et interne sont combinés à l'essai d'exposition, les premiers chocs externes et internes doivent se produire au cours des 10 premières heures de la période de 30 h définie ci-dessus, tandis que les seconds chocs doivent se produire au cours des 10 dernières heures de cette même période.

Tableau 4 — Conditions climatiques de référence pour l'essai d'exposition ainsi que pour les essais de choc thermique externe et interne

Condition climatique	Valeur pour toutes les classes climatiques
Irradiance solaire global sur le plan du capteur, G en W/m^2	850
Irradiation quotidienne globale sur le plan du capteur, H en MJ/m^2	14
Température de l'air environnant, t_a en $^{\circ}C$	10
NOTE Les valeurs indiquées sont les valeurs minimales d'essai.	

5.4.4 Résultats

Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle permettant de détecter tout endommagement ou toute dégradation. Les résultats du contrôle doivent être consignés accompagnés d'un enregistrement des conditions climatiques observées au cours de l'essai, y compris l'irradiance, la température de l'air environnant et les précipitations relevés sur une base quotidienne.

5.5 Essai de choc thermique externe

5.5.1 Objectif

Les capteurs peuvent occasionnellement être exposés à des pluies torrentielles subites lors de journées particulièrement chaudes et ensoleillées, entraînant un choc thermique externe important. L'essai décrit ici a pour objet d'évaluer la capacité d'un capteur à résister à de tels chocs thermiques sans présenter de défaillance.

5.5.2 Appareillage et mode opératoire

Monter le capteur à l'extérieur ou dans un simulateur d'irradiance solaire, sans le remplir de fluide. Obturer tous les tubes de fluide, sauf un, afin de prévenir tout refroidissement par circulation naturelle de l'air. Ne pas obturer l'un des tubes afin de permettre à l'air de s'écouler librement dans l'absorbeur (voir Figure A.8).

Fixer éventuellement une sonde de température sur l'absorbeur afin de surveiller la température de celui-ci au cours de l'essai. Placer la sonde aux deux tiers de la hauteur et à mi-largeur de l'absorbeur. La fixer solidement de manière à assurer un contact thermique correct avec l'absorbeur. Protéger également la sonde contre l'irradiance solaire.

NOTE 1 Lors de l'essai de capteurs tels que des capteurs à tubes sous vide, dont il n'est pas approprié de mesurer la température de stagnation au niveau de l'absorbeur, il convient de placer la sonde de température en un point adéquat du capteur, ledit point étant généralement à décrire de manière explicite avec les résultats d'essai.

NOTE 2 Dans certains cas, tels que des capteurs sous vide, il peut se révéler difficile de fixer un thermocouple sur l'absorbeur. Dans ce cas, le laboratoire d'essai, plutôt que de fixer un thermocouple sur l'absorbeur, peut remplir partiellement l'absorbeur avec un fluide spécial, le sceller et mesurer la pression interne. La relation entre la pression interne dans l'absorbeur et sa température est généralement déduite de la relation classique pression/température de vapeur relative au fluide.

Prévoir une rangée de jets d'eau pour assurer une pulvérisation uniforme de l'eau sur le capteur.

Maintenir le capteur sous un niveau d'irradiance solaire élevé pendant une période de 1 h avant de déclencher le jet d'eau. Refroidir ensuite le capteur à l'aide du jet d'eau pendant 15 min avant de le soumettre à examen.

Soumettre le capteur à deux chocs thermiques externes.

5.5.3 Conditions d'essai

L'ensemble des conditions de référence indiquées dans le Tableau 4 doit être utilisé.

Les conditions de fonctionnement spécifiées doivent être les suivantes :

- l'irradiance solaire (ou solaire simulée) G doit être supérieure à la valeur indiquée dans le Tableau 4 ;
- la température de l'air environnant t_a doit être supérieure à la valeur indiquée dans le Tableau 4 ;

ou les conditions ayant pour résultat une température de capteur similaire, selon l'équation C.1.

La température du jet d'eau doit être inférieure à 25 °C et son débit doit être compris entre 0,03 kg/s et 0,05 kg/s par mètre carré de superficie d'entrée du capteur.

Lorsque la température de l'eau qui refroidit en premier le capteur est susceptible d'être supérieure à 25 °C (par exemple lorsque l'eau est demeurée dans un tuyau exposé au soleil pendant un certain temps), l'eau doit alors être détournée jusqu'à ce que sa température soit inférieure à 25 °C, avant d'être orientée en direction du capteur.

5.5.4 Résultats

Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle afin de déceler toute fissure, déformation, condensation, infiltration d'eau ou autre perte de vide. Les résultats du contrôle doivent être consignés. Les valeurs mesurées d'irradiance solaire, de la température de l'air environnant, de la température de l'absorbeur (lorsqu'elle est mesurée) ou de la température de l'eau, ainsi que du débit d'eau doivent être également consignées.

5.6 Essai de choc thermique interne

5.6.1 Objectif

Les capteurs peuvent occasionnellement, lors de journées chaudes et ensoleillées, faire l'objet d'une admission subite de fluide caloporteur froid entraînant un choc thermique interne important, par exemple après une période d'arrêt lorsque l'installation est remise en service alors que le capteur est à la température de stagnation. L'essai décrit ici a pour objectif d'évaluer la capacité d'un capteur à résister à de tels chocs thermiques sans présenter de défaillance.

5.6.2 Appareillage et mode opératoire

Monter le capteur à l'extérieur ou dans un simulateur d'irradiance solaire (voir Figure A.9), sans le remplir de fluide. Relier l'un des tubes de fluide, par l'intermédiaire d'une vanne d'arrêt, à la source de fluide caloporteur, mais ne pas obturer l'autre tube (à la diagonale du capteur) pour permettre avant tout à l'air de s'écouler librement dans l'absorbeur, et également permettre au fluide caloporteur de quitter l'absorbeur (et d'être ainsi recueilli). Si le capteur comporte plus de deux conduits, les ouvertures restantes doivent être jointes de manière à garantir le schéma d'écoulement désigné à l'intérieur du capteur.

Fixer éventuellement une sonde de température sur l'absorbeur afin de surveiller la température de celui-ci au cours de l'essai. Placer la sonde aux deux tiers de la hauteur et à mi-largeur de l'absorbeur. La fixer solidement de manière à assurer un contact thermique correct avec l'absorbeur. Protéger également la sonde contre l'irradiance solaire.

NOTE 1 Lors de l'essai de capteurs, tels que des capteurs à tubes sous vide, dont il n'est pas approprié de mesurer la température de stagnation au niveau de l'absorbeur, il convient de placer la sonde de température en un point adéquat du capteur, ce point étant généralement à décrire de manière explicite avec les résultats d'essai.

NOTE 2 Dans certains cas, tels que la présence de capteurs sous vide, il peut se révéler difficile de fixer un thermocouple sur l'absorbeur. Dans ce cas, le laboratoire d'essai, plutôt que de fixer un thermocouple sur l'absorbeur, peut remplir partiellement l'absorbeur avec un fluide spécial, le sceller et mesurer la pression interne. La relation entre la pression interne dans l'absorbeur et sa température est généralement déduite de la relation normale pression/température de vapeur relative au fluide.

Maintenir le capteur sous un niveau d'irradiance solaire élevé pendant une période de 1 h avant de le refroidir grâce au fluide caloporteur pendant une durée minimale de 5 min ou jusqu'à ce que la température de l'absorbeur chute au-dessous de 50 °C.

Soumettre le capteur à deux chocs thermiques internes.

5.6.3 Conditions d'essai

L'ensemble des conditions de référence indiquées dans le Tableau 4 doit être utilisé.

Les conditions de fonctionnement spécifiées doivent être les suivantes :

- l'irradiance solaire (ou solaire simulée) G doit être supérieure à la valeur indiquée dans le Tableau 4 ;
- la température de l'air environnant t_a doit être supérieure à la valeur indiquée dans le Tableau 4 ;

ou les conditions ayant pour résultat une température de capteur similaire, selon l'équation C.1.

La température du fluide caloporteur doit être inférieure à 25 °C. Le débit de fluide minimal recommandé est de 0,02 kg/s par mètre carré d'ouverture du capteur (sauf spécification contraire du fabricant).

5.6.4 Résultats

Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle afin de déceler toute fissure, déformation, infiltration d'eau ou autre perte de vide. Les résultats du contrôle doivent être consignés. Les valeurs mesurées d'irradiance solaire, de la température de l'air environnant, de la température de l'absorbeur (lorsqu'elle est mesurée) et de la température du fluide caloporteur, ainsi que du débit de ce fluide doivent être également consignées.

5.7 Essai d'étanchéité à l'eau de pluie

5.7.1 Objectif

Le présent essai s'applique uniquement aux capteurs vitrés et est destiné à évaluer le degré de résistance fondamental de ces derniers à l'eau de pluie. Les capteurs doivent généralement interdire toute pénétration d'eau de pluie normale ou chassée. Les capteurs peuvent comporter des orifices d'aération et d'évacuation, ces derniers ne devant toutefois pas permettre la pénétration d'eau de pluie dérivante.

5.7.2 Appareillage et procédure

5.7.2.1 Généralités

Obturer les tubes d'admission et d'évacuation de fluide du capteur (à moins que de l'eau chaude ne circule dans l'absorbeur, voir en 5.7.2.2), de la manière indiquée à la Figure A.10, et les placer sur un banc d'essai selon l'angle d'inclinaison le plus petit par rapport à l'horizontale, recommandé par le fabricant. En l'absence de toute spécification de l'angle, incliner le capteur d'un angle inférieur ou égal à 30°. Les capteurs conçus pour être intégrés à une toiture doivent être montés sur un toit factice et leur face antérieure doit être protégée. Monter les autres capteurs de manière classique sur un bâti ajouré ou un toit factice.

Les faces exposées du capteur doivent faire l'objet d'une pulvérisation, au moyen de tuyères ou de rampes de pulvérisation.

5.7.2.2 Détection de l'infiltration d'eau

Monter le capteur et le soumettre à pulvérisation de la manière indiquée ci-dessus en maintenant l'absorbeur à une température élevée (au minimum 50 °C). Ceci peut être effectué en faisant circuler de l'eau chaude à environ 50 °C dans l'absorbeur ou en exposant le capteur à l'irradiance solaire. L'infiltration d'eau dans le capteur doit être déterminée par examen (en recherchant la présence de gouttelettes d'eau, de condensation sur la partie vitrés de la couverture ou d'autres signes visibles) et au moyen de l'une des méthodes suivantes :

- a) pesée du capteur (incertitude type supérieure à 5 g/m² par surface de capteur) ;
- b) mesurage de l'humidité (incertitude type supérieure à 5 g/m²) ; ou
- c) mesurage du niveau de condensation.

Le chauffage du capteur précède généralement la pulvérisation d'eau afin de s'assurer que le boîtier du capteur est sec avant de procéder à l'essai.

Dans les cas où les capteurs ont du bois sur la surface supérieure (ou dans d'autres cas spécifiques), le laboratoire doit prendre toutes les dispositions nécessaires durant l'essai afin que le résultat final ne soit pas influencé ou modifié par la conception particulière du capteur.

5.7.3 Conditions d'essai

Le capteur doit être soumis à une pulvérisation d'eau à une température inférieure à 30 °C, à un débit supérieur à 0,05 kg/s par mètre carré de superficie pulvérisée. La durée de l'essai doit être de 4 h.

5.7.3.1 Méthode de la pesée

Lorsque la méthode de la pesée est retenue, le capteur doit être placé sur la balance à trois reprises avant de procéder à l'essai. Les pesées consignées ne doivent pas varier de plus de ± 5 g/m² par surface de capteur.

5.7.3.2 Méthode de mesurage de l'humidité

Lorsqu'il s'agit de mesurer la pénétration de l'eau dans le capteur au moyen du mesurage d'humidité, une sonde à humidité absolue est placée dans l'espace libre entre l'absorbeur et le vitrage. Le capteur et la sonde sont branchés à une boucle de fluide chaud au moins 5 h avant que la pluie ne commence à tomber pour permettre une stabilisation. En effectuant des essais à l'extérieur, afin de réduire le plus possible les perturbations dans le mesurage, le capteur doit être à l'ombre durant l'intégralité du test. L'humidité doit être surveillée 5 h avant la pluie au moins 5 h après la pluie. L'infiltration de l'eau peut également être détectée lors d'une étape plus avancée dans le temps, durant le « Contrôle final » (en 5.11).

5.7.3.3 Méthode du niveau de condensation

Si la méthode du niveau de condensation est choisie, la pénétration de l'eau détermine par le mesurage du niveau de condensation sur la couverture vitrée et par le mesurage de l'eau sortant du capteur lorsqu'il est recouvert.

Le chauffage du capteur doit débuter au moins 30 min avant la pulvérisation d'eau et doit continuer jusqu'à garantir que le boîtier du capteur soit sec avant l'essai. Ceci doit être réalisé en faisant circuler de l'eau chaude (ou un autre fluide) à plus de 50 °C à travers l'absorbeur mais aussi durant l'intégralité de l'essai. L'eau se concentrera par la suite à l'intérieur du vitrage, qui est refroidi par de l'eau froide à l'extérieur. Au bout de 2 h, une inspection intermédiaire de la condensation sur la partie vitrée de la couverture doit être effectuée afin de faciliter le rapport sur les endroits où l'eau pénètre. Après avoir fini la pulvérisation, il convient de procéder à l'inspection de la condensation après un court temps de ventilation, afin de distinguer les capteurs ayant des qualifications de bonne ventilation qui ne présentent pas d'accumulation d'humidité à l'intérieur du capteur. Cependant, il convient que l'inspection soit effectuée dans la minute qui suit la fin de la pulvérisation, avant que le capteur ne subisse aucun changement de température.

5.7.4 Résultats

Le capteur doit être examiné pour déceler toute infiltration d'eau. Les résultats de l'examen, à savoir le degré d'infiltration d'eau et les points d'infiltration effectifs, doivent être consignés.

5.8 Essai de résistance au gel

5.8.1 Objectif

Le présent essai a pour objet d'évaluer le niveau de résistance au gel et aux cycles de gel/dégel des capteurs permettant le chauffage de l'eau, dits résistants au gel. L'essai n'est pas destiné aux capteurs dont le manuel d'installation indique clairement qu'ils peuvent être utilisés uniquement avec un liquide antigel.

Les deux modes opératoires suivants sont recommandés :

- mode opératoire pour les capteurs déclarés résistant au gel lorsqu'ils sont remplis d'eau ; et
- mode opératoire pour les capteurs déclarés également résistant au gel une fois purgés.

5.8.2 Appareillage et mode opératoire

5.8.2.1 Capteurs résistant au gel

Installer les capteurs déclarés comme pouvant résister au gel dans une chambre froide (voir Figure A.11). Monter le capteur correctement, l'obturer totalement et l'incliner selon le plus petit angle par rapport à l'horizontale recommandé par le fabricant. Lorsque aucun angle n'est spécifié par le fabricant, incliner alors le capteur d'un angle de 30° par rapport à l'horizontale. Les capteurs sans vitrage doivent être testés en position horizontale sauf interdiction expresse du fabricant. Remplir ensuite le capteur d'eau à la pression de service.

Faire varier la température de la chambre froide selon les cycles de fonctionnement prévus, et remplir le capteur une nouvelle fois d'eau à la pression de service au terme de chaque cycle.

Surveiller la température de l'eau tout au long de l'essai.

5.8.2.2 Capteurs vidangeables vers l'extérieur

Les capteurs qui utilisent un système de vidange vers l'extérieur, destiné à les protéger contre le gel, doivent être installés dans une chambre froide (voir Figure A.11). Incliner le capteur du plus petit angle par rapport à l'horizontale recommandé par le fabricant. Lorsque aucun angle n'est spécifié par le fabricant, incliner le capteur d'un angle de 30° par rapport à l'horizontale. Sauf interdiction expresse du fabricant, essayer les capteurs sans vitrage en position horizontale. Remplir ensuite le capteur d'eau, le maintenir à la pression de service pendant 10 min, puis le purger à l'aide du dispositif installé par le fabricant.

Si, dans un délai de 5 min suivant le début de l'opération de purge, la quantité d'eau évacuée du capteur correspond environ à 95 % de la quantité d'eau totale contenue dans le capteur, l'essai de chambre froide n'est pas nécessaire.

Faire varier la température de la chambre froide selon les cycles de fonctionnement prévus.

Mesurer la température à l'intérieur de l'absorbeur, à proximité de l'orifice d'admission (entrée).

Remplir une nouvelle fois le capteur d'eau à la pression de service au terme du dernier cycle.

5.8.3 Conditions d'essai

Le contenu de l'absorbeur doit être maintenu à une température de (-20 ± 2) °C pendant au moins 30 min au cours de la phase de gel du cycle concerné, puis porté à une température dépassant 10 °C au cours de la phase de dégel de ce même cycle. La durée minimale de la phase de dégel du cycle doit être de 30 min.

Le capteur doit être soumis à trois cycles de gel/dégel.

5.8.4 Résultats

Le nombre de cycles effectués doit être consigné. Le capteur doit faire l'objet d'un contrôle afin de déterminer toute fuite, rupture et autre déformation. Celles-ci doivent être consignées ainsi que les températures de l'absorbeur observées au cours des cycles et les périodes de fonctionnement du capteur aux températures d'essai. L'inclinaison utilisée pour l'essai doit être également consignée.

5.9 Essai de charge mécanique

5.9.1 Essai de pression positive de la couverture du capteur

5.9.1.1 Objectif

Le présent essai a pour objet d'évaluer le niveau de résistance de la couverture transparente du capteur et du boîtier du capteur à la charge de pression positive due à l'effet du vent et de la neige.

5.9.1.2 Appareillage et mode opératoire

Placer le capteur à l'horizontale sur un sol régulier. Déposer un film sur le capteur et placer un cadre en bois ou métallique sur le bâti du capteur, à une hauteur suffisante pour contenir la quantité requise de gravier ou matériau similaire (voir Figure A.12).

La pesée du gravier, de préférence d'un diamètre compris entre 2 mm et 32 mm, doit s'effectuer par petites quantités, le gravier étant réparti sur le cadre de manière à ce que la charge obtenue soit uniforme en tout point (accorder une attention toute particulière à la flexion du verre), jusqu'à ce que la hauteur souhaitée soit atteinte.

L'essai peut également être effectué en installant le capteur conformément à 5.9.2.2 et en chargeant la couverture au moyen de ventouses, de gravier ou autres moyens appropriés (par exemple de l'eau).

Autre possibilité : la charge requise peut être obtenue en appliquant une pression d'air sur la couverture du capteur.

La charge peut également être produite en exerçant une dépression sur la couverture du capteur. Dans ce cas, l'appareillage conforme à la norme EN 12211 peut être utilisé. Cependant, cette méthode ne peut être appliquée à tous les types de capteurs.

5.9.1.3 Conditions d'essai

La pression d'essai doit être augmentée au palier maximal de 250 Pa jusqu'à l'apparition d'une défaillance ou jusqu'à l'obtention de la valeur spécifiée par le fabricant. La pression d'essai doit être au minimum de 1 000 Pa. Une défaillance peut être représentée par la destruction de la couverture ainsi que la déformation permanente du boîtier du capteur ou des fixations.

NOTE Il convient d'attribuer une déformation permanente à une valeur de charge, alors qu'elle est complètement déchargée après chaque incrément de charge de 250 Pa et la distorsion est mesurée par comparaison avec le début de la séquence d'essai. La valeur d'une déformation permanente inadmissible maximale s'élève à 0,5 % (Exemple : 10 mm de distorsion à deux mètres du bâti du capteur).

5.9.1.4 Résultats

La pression à laquelle se produit une défaillance quelconque de la couverture, du boîtier ou des fixations du capteur doit être consignée dans un rapport d'essai, accompagnée des détails relatifs à la défaillance. En l'absence de défaillance, la pression maximale supportée par le capteur doit alors être consignée dans le rapport d'essai.

La pression positive maximale est la pression atteinte avant la production d'une défaillance. La pression positive permise est la pression maximale divisée par le facteur de sécurité $FS+ = 1,5$:

$$F_{perm+} = F_{max+} / FS+ \text{ avec } FS+ = 1,5$$

NOTE Lorsque l'essai est réalisé avec un système de montage sur le toit, les résultats de l'essai restent valides pour le système de montage d'une toiture intégrée.

5.9.2 Essai de dépression du capteur

5.9.2.1 Objectif

Le présent essai a pour objet d'évaluer le niveau de résistance des fixations entre la couverture et le coffre du capteur aux forces de soulèvement dus au vent.

Pour la conception des éléments statiques du système de montage, les guides nationaux et européens relatifs à l'étude de structure de bâtiment conforme à l'EN 1991 doivent être appliqués.

5.9.2.2 Appareillage et mode opératoire

Placer le capteur à l'horizontale sur un cadre rigide au moyen de ses dispositifs de fixation. Ne restreindre en aucune manière le mouvement du bâti de fixation de la couverture sur le coffre du capteur.

Soumettre la couverture à une force de traction équivalente à la charge de pression négative spécifiée, appliquée de manière uniforme. Augmenter la charge de manière progressive jusqu'à la pression d'essai finale. Si la couverture n'a pas cédé sous l'action de la pression finale, augmenter la pression jusqu'à la rupture. Le temps qui s'écoule entre chaque palier de pression doit être le temps nécessaire à la stabilisation de la pression.

On peut utiliser l'une des méthodes suivantes pour l'application de la pression sur la couverture :

- la méthode (a) : la charge peut être appliquée sur le capteur au moyen d'un ensemble de ventouses uniformément réparties (voir Figure A.13) ;
- la méthode (b) : pour les capteurs ayant un coffre quasi-étanche à l'air, le mode opératoire suivant peut être suivi pour créer une pression négative sur la couverture (voir Figure A.14). Percer deux trous à travers le coffre du capteur, ces deux trous permettant de relier une source d'air et un manomètre à l'espace d'air compris entre la couverture et l'absorbeur. La mise sous pression du coffre du capteur entraîne une pression négative au niveau de la couverture. Pour des raisons de sécurité, loger le capteur dans un boîtier transparent afin de protéger le personnel en cas de défaillance au cours de l'essai.

Lors de l'essai, soumettre le capteur à un examen visuel et consigner toute déformation de la couverture et de ses fixations dans le rapport d'essai. Examiner le capteur au terme de l'essai afin de déceler toute déformation permanente.

5.9.2.3 Conditions d'essai

La pression d'essai doit être augmentée par paliers de 250 Pa jusqu'à ce qu'une erreur apparaisse ou jusqu'à la valeur spécifiée par le fabricant. La pression d'essai doit être au minimum de 1 000 Pa. Une erreur peut s'apparenter à la destruction de la couverture et également à la déformation permanente du boîtier du capteur ou des fixations.

NOTE Il convient d'attribuer une déformation permanente à une valeur de charge, alors qu'elle est complètement déchargée après chaque incrément de charge de 250 Pa et la distorsion est mesurée par comparaison avec le début de la séquence d'essai. La valeur d'une déformation permanente inadmissible maximale s'élève à 0,5 % (Exemple : 10 mm de distorsion à deux mètres du bâti du capteur).

5.9.2.4 Résultats

La pression à laquelle toute défaillance de la couverture, du boîtier ou de ses fixations a été observée, doit être consignée accompagnée de précision sur la panne. En l'absence de défaillance, c'est la pression maximale supportée par le capteur qui doit être consignée dans le rapport d'essai.

La pression négative maximale est la pression atteinte avant l'apparition d'une défaillance. La pression négative admissible est la pression maximale divisée par le facteur de sécurité $FS = 2$:

$$F_{perm} = F_{max} / FS \text{ avec } FS = 2$$

5.10 Essai de résistance au choc

5.10.1 Objectif

Le présent essai a pour objet d'évaluer le niveau de résistance d'un capteur aux effets de chocs importants dus à des grêlons.

5.10.2 Appareillage et mode opératoire

5.10.2.1 Généralités

L'essai du capteur solaire permettant de déterminer sa résistance au choc peut être réalisé à l'aide de l'un des moyens suivants : des billes d'acier ou des boules de glace.

5.10.2.2 Méthode 1

Monter le capteur à la verticale ou à l'horizontale sur un support (voir Figure A.15). Le support doit être suffisamment rigide pour que la déformation ou la déflexion produite au moment du choc soit négligeable.

Utiliser les billes d'acier pour simuler un choc important. Lorsque le capteur est monté à l'horizontale, laisser tomber les billes d'acier à la verticale ; lorsqu'il est monté à la verticale, un pendule permet de diriger les impacts à l'horizontale. Dans les deux cas, la hauteur de chute est la distance verticale entre le point de lancer et le plan horizontal contenant le point d'impact.

Le point d'impact ne doit pas être situé à plus de 5 cm du bord de la couverture du capteur, et pas à plus de 10 cm de l'angle de ladite couverture, mais il doit être déplacé de plusieurs millimètres à chaque lancement de la bille d'acier.

Lancer une bille d'acier sur le capteur 10 fois à partir de la première hauteur d'essai, puis 10 fois à partir de la deuxième hauteur d'essai, etc. jusqu'à ce que la hauteur d'essai maximale spécifiée par le fabricant soit atteinte. Suspendre l'essai lorsque le capteur subit un endommagement ou lorsqu'il a résisté à l'impact de 10 billes d'acier à la hauteur d'essai maximale.

NOTE La présente méthode ne correspond pas à l'effet physique des grêlons dans la mesure où l'énergie de déformation absorbée par les particules de glace n'est pas prise en considération.

5.10.2.3 Méthode 2

L'appareillage se compose du matériel suivant :

- a) des moules constitués d'un matériau approprié pour le moulage de boules de glace sphériques du diamètre requis (25 mm) ;
- b) un appareil de congélation réglé à une température de $(-10 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- c) un récipient de stockage permettant de conserver les boules de glace à une température de $(-4 \pm 2) ^\circ\text{C}$;
- d) un lanceur capable de propulser une boule de glace à la vitesse spécifiée par le fabricant, à $\pm 5\%$ près, de manière à heurter le capteur au niveau du point d'impact spécifié, la trajectoire de la boule de glace entre le lanceur et le capteur pouvant être horizontale, verticale ou se situer à tout angle intermédiaire ;
- e) un cadre rigide d'appui du capteur, la surface d'impact étant perpendiculaire à la trajectoire de la boule de glace lancée ; le support doit être suffisamment rigide pour que la déformation ou la déflexion produite au moment de l'impact soit négligeable ;
- f) une balance permettant de déterminer la masse de la boule de glace avec une incertitude type de $\pm 2\%$;
- g) un instrument de mesure de la vitesse de la boule de glace avec une incertitude type de $\pm 2\text{ ms}^{-1}$. Le capteur de vitesse ne doit pas se situer à plus de 1 m de la surface du capteur.

À titre d'exemple, la Figure A.16 représente, sous forme schématique, un appareillage approprié constitué d'un lanceur pneumatique horizontal, d'un support de capteur vertical et d'un compteur de vitesse permettant de mesurer le temps électronique nécessaire à la boule de glace pour parcourir la distance comprise entre deux faisceaux lumineux.

Le mode opératoire est le suivant :

- a) à l'aide des moules et de l'appareil de congélation, former un nombre suffisant de boules de glace de la taille requise pour l'essai, certaines boules étant destinées au réglage préalable du lanceur ;
- b) examiner chaque boule afin de déterminer sa taille, sa masse et sa fissuration éventuelle ; une boule acceptable doit satisfaire aux critères suivants :
 - aucune fissure ne doit être visible à l'œil nu ;
 - diamètre de la boule exact à $\pm 5\%$ (25 mm) près ;
 - masse de la boule exacte à $\pm 5\%$ (25 mm) près ;
- c) placer les boules dans le récipient de stockage et les y laisser pendant au moins 1 h avant de les utiliser ;
- d) s'assurer que la température de toutes les surfaces du lanceur susceptibles d'être en contact avec les boules de glace est proche de la température ambiante ;
- e) procéder à un certain nombre de tirs d'essai sur une cible factice conformément à l'étape g) ci-dessous et régler le lanceur jusqu'à ce que la vitesse de la boule de glace mesurée avec le capteur de vitesse dans la position indiquée, soit égale à la vitesse d'essai requise des grêlons à $\pm 5\%$ près ;
- f) installer le capteur à la température ambiante selon le montage indiqué, la surface d'impact étant perpendiculaire à la trajectoire de la boule de glace ;

- g) prélever une boule de glace dans le récipient de stockage et la placer dans le lanceur. Viser le point d'impact et tirer. Le temps qui s'écoule entre le départ de la boule de glace du récipient de stockage et l'impact sur le capteur ne doit pas dépasser 60 s.

Le point d'impact ne doit pas se situer à plus de 5 cm du bord de la couverture du capteur, et pas à plus de 10 cm de l'angle de cette dernière ; il doit toutefois être déplacé de plusieurs millimètres à chaque lancer de la boule de glace.

Lancer la boule de glace sur le capteur à 10 reprises. Suspendre l'essai dès que le capteur subit un endommagement quelconque ou s'il a résisté à l'impact de 10 boules de glace.

5.10.3 Conditions d'essai

Lorsque l'essai est réalisé selon la Méthode 1, la masse de la bille d'acier doit être de (150 ± 10) g et la séquence suivante de hauteurs d'essai doit être utilisée : 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m, 1,8 m et 2,0 m.

Lorsque l'essai est réalisé selon la Méthode 2, le diamètre de la boule de glace doit être de $25 \text{ mm} \pm 5 \%$, sa masse doit être de $7,53 \text{ g} \pm 5 \%$ et sa vitesse doit être de $23 \text{ m/s} \pm 5 \%$.

5.10.4 Résultats

Le capteur doit être examiné pour déceler tout endommagement. Les résultats de l'examen doivent être consignés, ainsi que la hauteur de chute de la bille d'acier (si la Méthode 1 est utilisée) et le nombre d'impacts ayant provoqué l'endommagement.

NOTE Il est préférable de faire appel à la Méthode 2 (5.10.2.3), dans la mesure où elle est plus proche de la réalité.

5.11 Contrôle final

Une fois achevée la série complète d'essais, le capteur doit être démonté et examiné. Toutes les anomalies constatées doivent être consignées et accompagnées d'une photographie illustrative.

5.12 Rapport d'essai

Les formulaires donnés à l'Annexe B doivent être complétés pour chaque essai et accompagnés du formulaire d'introduction (B.1) résumant les principaux résultats, y compris les méthodes d'essai.

6 Essai des performances thermiques des capteurs à circulation de liquide

Les performances thermiques des capteurs solaires vitrés doivent être déterminées selon 6.1 ou 6.3.

6.1 Capteurs solaires vitrés dans des conditions d'état stationnaire (y compris la perte de charge)

6.1.1 Montage et emplacement des capteurs

6.1.1.1 Généralités

Le mode de montage d'un capteur influe sur les résultats des essais de performances thermiques. Les capteurs devant être soumis à essai doivent donc être montés conformément au paragraphe 6.1.1.2 à 6.1.1.8. Des modules de capteurs grandeur nature doivent être soumis à essai dans la mesure où les pertes par les parois latérales des capteurs de petite taille peuvent réduire de manière significative leurs performances globales.

6.1.1.2 Cadre de montage des capteurs

Le cadre de montage des capteurs ne doit en aucun obstruer l'ouverture du capteur et ne doit pas affecter de manière significative l'isolation arrière ou latérale. Sauf spécification contraire (par exemple lorsque le capteur fait partie intégrante d'une toiture intégrée), une structure de fixation à ciel ouvert doit être utilisée, qui permet à l'air de circuler librement autour des parties avant et arrière du capteur. Le capteur doit être monté de sorte que son bord inférieur se situe au moins à 0,5 m au-dessus de la surface du sol. Toute circulation de courants d'air chaud au niveau du capteur, tels que les courants ascendants montant le long des parois d'un bâtiment, doit être interdite. Lorsque les capteurs sont soumis à essai sur le toit d'un bâtiment, ils doivent se situer à au moins 2 m de l'arête du toit.

6.1.1.3 Angle d'inclinaison

Le capteur doit être soumis à essai à des inclinaisons telles que le facteur d'angle d'incidence du capteur varie de moins de 2 % par rapport à l'incidence normale. Pour les capteurs plans simples vitrés, cette condition sera généralement satisfaite si l'angle d'incidence d'irradiance solaire direct au niveau de l'ouverture du capteur est inférieur à 20°.

NOTE L'inclinaison n'a qu'une faible influence pour de nombreux capteurs, mais peut être une variable importante pour des capteurs spécifiques tels que ceux comprenant des caloducs.

6.1.1.4 Orientation des capteurs à l'extérieur

Le capteur peut être monté à l'extérieur en position fixe orientée vers l'équateur, la plage d'acceptation des angles d'incidence entraînant toutefois une restriction de la durée d'essai disponible. Une approche plus souple consiste à déplacer le capteur afin de suivre la trajectoire azimutale du Soleil, grâce à un système suiveur manuel ou automatique.

6.1.1.5 Protection contre l'irradiance solaire directe

Le banc d'essai doit être situé de façon à ne projeter aucune ombre sur le capteur au cours de l'essai.

6.1.1.6 Irradiance solaire diffuse et réfléchie

À des fins d'analyse des résultats d'essai à l'extérieur, l'irradiance solaire ne provenant pas directement du disque solaire est supposée isotrope et provenant directement de l'hémisphère vu du capteur.

Afin de réduire le plus possible les défaillances dues à ce calcul approché, le capteur doit être placé au cours des essais en un point où il est soumis à une irradiance solaire peu important réfléchi par les bâtiments ou les surfaces environnantes, et en un point où son ouverture n'est obstruée par aucun obstacle significatif. Avec certains types de capteurs, tels que les capteurs à tubes sous vide, il peut être également important de réduire au minimum les réflexions tant sur le dessus que sur le dessous.

Le pourcentage d'obstruction de l'ouverture du capteur doit être réduit à 5 % au maximum, et il est particulièrement important d'éviter la présence de bâtiments ou d'obstacles volumineux sous-tendant des angles supérieurs à environ 15° par rapport à l'horizontale à l'avant des capteurs. Le facteur de réflexion de la plupart des surfaces rugueuses, telles que l'herbe, le béton vieilli aux intempéries ou les gravillons est généralement suffisamment faible pour que l'essai auquel sont soumis les capteurs ne soulève aucun problème.

Les surfaces devant de préférence être exclues du champ de vision du capteur incluent les vastes étendues de verre, de métal ou d'eau. Le faisceau de la plupart des simulateurs solaires ne simule que l'irradiance solaire directe. Pour simplifier le mesurage d'irradiance simulé, il est nécessaire de réduire le plus possible d'irradiance réfléchie. Ceci peut être réalisé en revêtant toutes les surfaces de l'enceinte d'essai d'une peinture sombre (peu réfléchissante).

6.1.1.7 Irradiance thermique

Les performances de certains capteurs sont particulièrement sensibles aux niveaux d'irradiance thermique. La température des surfaces adjacentes au capteur doit être la plus proche possible de celle de l'air ambiant afin de réduire au minimum l'influence d'irradiance thermique. Par exemple, le capteur ne doit avoir dans son champ de vision, aucune cheminée, aucune tour de refroidissement, aucun conduit d'évacuation de gaz chauds. Dans le cadre des essais à l'intérieur et en simulateur, le capteur doit être protégé des surfaces chaudes, telles que les radiateurs, les conduits et appareillages de conditionnement d'air, et des surfaces froides telles que les fenêtres et les parois extérieures. La protection de la partie avant et de la partie arrière du capteur est particulièrement importante.

6.1.1.8 Vitesse de l'air

Les performances de nombreux capteurs sont sensibles aux vitesses de l'air. Afin d'assurer une reproductibilité maximale des résultats, les capteurs doivent être montés de sorte que l'air puisse circuler librement au-dessus de l'ouverture, de la partie arrière et des côtés du capteur. La vitesse moyenne de l'air, parallèlement à l'ouverture du capteur, doit se situer dans les limites spécifiées en 6.1.4.3. Des ventilateurs doivent, le cas échéant, être utilisés pour obtenir ces vitesses de l'air. La partie arrière des capteurs conçus pour être intégrés à une toiture peut être protégée contre le vent ; si tel est le cas, cela doit être consigné avec les résultats d'essai.

6.1.2 Instrumentation

6.1.2.1 Mesurage d'irradiance solaire

6.1.2.1.1 Pyranomètre

6.1.2.1.1.1 Généralités

Un pyranomètre de Classe I, ou mieux encore, tel que spécifié dans l'ISO 9060, doit être utilisé pour mesurer l'irradiance globale à ondes courtes du Soleil et du ciel. Il convient de suivre la pratique d'utilisation recommandée dans l'ISO/TR 9901. Avant de réaliser chaque essai, il est recommandé de vérifier le pyranomètre afin de détecter toute présence de poussière, salissure, etc. au niveau du dôme extérieur qu'il y a lieu de nettoyer si nécessaire.

Un pyranomètre de Classe I ou supérieure équipé d'une bague de directivité, ou bien un pyréliomètre accompagné d'un pyranomètre doivent être utilisés pour mesurer l'irradiance à ondes courtes diffuse.

6.1.2.1.1.2 Mesures à prendre par rapport aux effets du gradient de température

Le pyranomètre utilisé pour l'essai ou les essais doit être placé dans une position d'essai type permettant un temps d'équilibrage minimal de ce dernier de 30 min avant de procéder au relevé des données.

6.1.2.1.1.3 Mesures à prendre par rapport aux effets de l'humidité

Le pyranomètre doit comporter un dispositif prévenant toute accumulation d'humidité susceptible de condensation au niveau des surfaces de l'instrument et pouvant affecter sa lecture. L'utilisation d'un instrument contrôlable équipé d'un dessiccateur est requise. Un examen de l'état du dessiccateur doit être observé sur une base régulière.

6.1.2.1.1.4 Mesures à prendre par rapport aux effets des irradiances infrarouges sur l'exactitude des pyranomètres

Les pyranomètres utilisés pour mesurer l'irradiance du simulateur de rayonnement solaire doivent être montés de manière à minimiser les effets sur ses relevés des irradiances infrarouges de longueur d'onde supérieure à 3 µm par rapport à la source lumineuse du simulateur.

6.1.2.1.1.5 Montage des pyranomètres à l'extérieur

Le pyranomètre doit être monté de sorte que sa sonde se situe dans le même plan que l'ouverture du capteur, avec une tolérance de $\pm 1^\circ$. Il ne doit projeter aucune ombre sur l'ouverture du capteur au cours de la période d'essai. Le pyranomètre doit être monté de manière à être soumis aux mêmes niveaux d'irradiance solaire directe, diffuse et réfléchie que le capteur.

NOTE Pour des angles d'incidence de 50° , un écart de $\pm 1^\circ$ entraîne une défaillance de mesurage de 2 % de l'irradiance solaire.

Pour les essais effectués à l'extérieur, le pyranomètre doit être monté à mi-hauteur du capteur. Le corps du pyranomètre et les conducteurs émergents du raccord doivent être protégés afin de minimiser l'échauffement solaire des connexions électriques. Il convient également de veiller à réduire au minimum l'énergie réfléchie et retransmise par le capteur solaire vers le pyranomètre.

6.1.2.1.1.6 Utilisation des pyranomètres dans les simulateurs d'irradiance solaire

Des pyranomètres peuvent être utilisés pour mesurer la répartition d'irradiance solaire simulée sur l'ouverture du capteur ainsi que la variation du simulée sur la durée (voir en 6.1.5.6). D'autres types de détecteur d'irradiance peuvent être également utilisés, à condition qu'ils aient été évalués et étalonnés pour l'irradiance solaire simulé concerné.

Les pyranomètres doivent être montés de sorte que leur sonde se situe dans le même plan que l'ouverture du capteur avec une tolérance de $\pm 1^\circ$. Ils ne doivent projeter aucune ombre sur l'ouverture du capteur au cours de la période d'essai. Ils doivent être montés de manière à être soumis aux mêmes niveaux d'irradiance solaire indirecte, diffuse et réfléchie que le capteur lui-même.

La méthode et l'équipement utilisés pour mesurer la variation éventuelle d'irradiance simulée dans le temps au cours de la période d'essai, doivent avoir été soumis à une vérification de leur exactitude.

NOTE Pour le type le plus courant de simulateur solaire, qui utilise un arc électrique intégré à un réflecteur parabolique à faisceau scellé comme source lumineuse, le montage d'un pyranomètre dans une position d'essai type à mi-hauteur du capteur, comme décrit pour les essais à l'extérieur, n'est par exemple pas approprié, notamment lorsque la source d'énergie de l'ensemble de lampes est une alimentation secteur non stabilisée et de trois phases différentes. Il est recommandé pour les simulateurs solaires de ce type non équipés d'un dispositif d'alimentation stabilisée de prendre en compte la tension d'alimentation au cours de chaque période d'essai. Pour les simulateurs solaires équipés d'un stabilisateur, capable de stabiliser la tension d'alimentation à $\pm 0,5$ % près, aucune intégration d'une irradiance simulée au cours de chaque période d'essai n'est en revanche nécessaire dans les conditions normales. Pour la plupart des types de simulateurs solaires, il est possible de déterminer la relation entre la valeur d'irradiance solaire simulée intégrée dans l'espace et la tension d'alimentation intégrée au cours de chaque période d'essai. Dans tous les cas, il est supposé une connaissance suffisante des caractéristiques de rodage et de durée de vie du type de lampe utilisé.

6.1.2.1.2 Mesurage de l'angle d'incidence d'irradiance solaire directe

Il est possible de réaliser un dispositif simple de mesure de l'angle d'incidence d'irradiance solaire directe en disposant une aiguille à la perpendiculaire d'une plaque plane sur laquelle sont marqués des anneaux concentriques gradués. Les anneaux concentriques permettent de mesurer la longueur de l'ombre projetée par l'aiguille, ladite ombre pouvant être utilisée pour déterminer l'angle d'incidence. Le dispositif doit être placé dans le plan du capteur, sur un côté de ce dernier.

6.1.2.2 Mesurage d'irradiance thermique

6.1.2.2.1 Mesurage de l'irradiance thermique à l'extérieur

Les essais auxquels sont soumis les capteurs ne tiennent généralement pas compte des variations d'irradiance thermique à l'extérieur. Un pyranomètre peut toutefois être monté au niveau du plan d'ouverture du capteur ainsi que d'un côté de ce dernier à mi-hauteur, afin de déterminer l'irradiance thermique au niveau de ladite ouverture.

6.1.2.2.2 Détermination de l'irradiance thermique à l'intérieur et au niveau des simulateurs solaires

6.1.2.2.2.1 Mesurage

L'irradiance thermique peut être mesurée au moyen d'un pyranomètre comme indiqué en 6.1.2.2.1. pour les mesurages extérieurs. L'aération du pyranomètre doit être appropriée afin de minimiser l'influence d'irradiance solaire ou d'irradiance solaire simulée. L'irradiance thermique, dans le cas des essais à l'intérieur, doit être déterminée avec une incertitude type de 10 Wm^{-2} .

6.1.2.2.2.2 Calcul

À condition que la totalité des sources et récepteurs d'irradiance thermique dans l'ouverture du capteur puisse être identifiée, l'irradiance thermique au niveau de l'ouverture du capteur peut être calculée à l'aide des mesures de la température, de l'émissivité superficielle et des facteurs de forme d'irradiance. L'irradiance thermique effective sur une surface d'un capteur (désignée 1) d'une surface plus chaude (désignée 2) est donné par l'équation suivante :

$$\sigma \varepsilon_2 F_{12} T_2^4 \quad (1)$$

ou, d'une manière généralement plus utile, l'irradiance thermique supplémentaire (comparée à celle qui se produirait si la surface 2 était un corps noir parfait à la température ambiante) est donnée par l'équation suivante :

$$\sigma F_{12} (\varepsilon_2 T_2^4 - T_a^4) \quad (2)$$

Les facteurs de forme d'irradiance sont indiqués dans les manuels traitant du transfert thermique par irradiance. L'irradiance thermique au niveau de l'ouverture du capteur peut également être calculée à partir d'une série de mesurages effectués sur de petits angles solides au niveau de l'ouverture. Des mesurages de ce type peuvent être effectués au moyen d'un pyréliomètre avec ou sans filtre en verre afin d'identifier la composante thermique d'irradiance totale.

6.1.2.3 Mesurages de la température

6.1.2.3.1 Généralités

Trois mesurages de température sont nécessaires pour les essais des capteurs solaires. Il s'agit des températures du fluide à l'entrée et à la sortie du capteur ainsi que de la température de l'air ambiant. L'exactitude requise et l'environnement nécessaire pour ces mesurages étant différents, la sonde de mesure de la température ainsi que l'équipement associés peuvent donc être différents.

6.1.2.3.2 Mesurage de la température d'entrée du fluide caloporteur (tin)

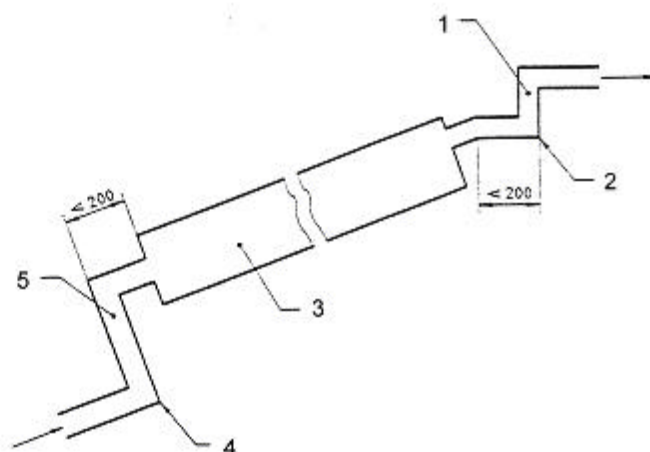
6.1.2.3.2.1 Exactitude requise

La température du fluide caloporteur à l'entrée du capteur doit être mesurée avec une incertitude type de 0,1 K, mais afin de vérifier que la température ne varie pas avec le temps, une résolution plus précise du signal de température à $\pm 0,02 \text{ K}$ est requise.

NOTE Cette résolution, qui se veut une exactitude particulièrement exigeante pour l'enregistrement des données au moyen d'un système d'acquisition de données, dans la mesure où elle requiert une résolution de 1 pour 4 000 ou un système numérique à 12 bits, se révèle nécessaire pour toutes les températures utilisées pour les essais des capteurs (à savoir la plage comprise entre 0°C et 100°C).

6.1.2.3.2.2 Montage des sondes

La sonde de mesure de la température ne doit pas être montée à plus de 200 mm de l'ouverture du capteur, et l'isolation doit envelopper la tuyauterie amont et aval de la sonde. Lorsqu'il se révèle nécessaire de placer la sonde à plus de 200 mm du capteur, un essai doit alors être réalisé pour vérifier que cela n'affecte pas la mesure de la température du fluide. Afin d'assurer le mélange du fluide au point de mesure de la température, un coude, un diaphragme ou un dispositif de mélange du fluide doit être placé au niveau de la tuyauterie en amont de la sonde, cette dernière devant être orientée vers l'amont et disposée dans un tuyau à écoulement ascendant (pour prévenir tout piégeage de l'air à proximité de la sonde), comme représenté à la Figure 1.



Légende

- 1 Sonde de température ($t_e : \Delta T$)
- 2 Coude de tuyauterie ou mélangeur
- 3 Capteur solaire
- 4 Coude de tuyauterie ou mélangeur
- 5 Sonde de température ($t_{in} : \Delta T$)

Figure 1 — Positions recommandées de la sonde pour la mesure des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur

6.1.2.3.3 Détermination de la différence de température du fluide caloporteur (ΔT)

La différence entre les températures d'admission et de sortie du capteur (ΔT) doit être déterminée avec une incertitude type meilleure que 0,05 K. Des incertitudes d'étalonnage voisines de 0,02 K sont réalisables avec des sondes modernes parfaitement adaptées et étalonnées. Il est donc possible de mesurer les différences de température du fluide caloporteur de 1 K ou 2 K avec une exactitude raisonnable. Les sondes delta-T doivent être étalonnées dans les plages de températures appropriées.

6.1.2.3.4 Mesurage de la température de l'air environnant (t_a)

6.1.2.3.4.1 Exactitude requise

La température de l'air ambiant ou environnant doit être mesurée avec une incertitude type de 0,5 K.

6.1.2.3.4.2 Montage des sondes

Pour les mesurages effectués à l'extérieur, la sonde doit être protégée contre l'irradiance solaire directe et réfléchiée par un abri revêtu d'une couche de peinture blanche, correctement aéré, l'aération étant de préférence forcée. L'abri lui-même doit être revêtu d'une couche de peinture sombre et placé à mi-hauteur du capteur, et au moins à 1 m au-dessus de la surface du sol afin de garantir qu'il ne subit pas l'influence de la chaleur de celui-ci.

L'abri doit être placé d'un côté du capteur, à une distance maximale de 10 m de ce dernier. Lorsqu'un ventilateur participe à la circulation forcée de l'air au niveau du capteur, la température de l'air doit être mesurée à la sortie du ventilateur et des contrôles doivent être effectués afin de s'assurer que cette température ne s'écarte pas de la température de l'air ambiant de plus de ± 1 K.

6.1.2.4 Mesure du débit du fluide du capteur

Les débits massiques peuvent être mesurés directement ou lorsque la masse volumique est connue, peuvent également être déterminés à partir de mesures du débit volumique et de la température. L'incertitude type de la mesure du débit du fluide doit être de ± 1 % de la valeur mesurée, en masse par unité de temps. Le débitmètre doit être étalonné sur la plage des débits et des températures de fluide devant être utilisés au cours des essais des capteurs.

NOTE La température du fluide dans les débitmètres volumiques est généralement connue avec une exactitude suffisante pour s'assurer que les débits massiques peuvent être déterminés dans les limites spécifiées par le fabricant.

6.1.2.5 Mesurage de la vitesse de l'air

6.1.2.5.1 Généralités

L'augmentation des pertes thermiques dans un capteur est proportionnelle à l'augmentation de la vitesse de l'air sur ce dernier, l'influence du sens du flux n'étant toutefois pas clairement perçue. Les mesures du sens de flux de l'air ne sont par conséquent pas utilisées pour les essais des capteurs.

La relation entre la vitesse du vent météorologique et la vitesse de l'air sur le capteur étant fonction du site de l'installation d'essai, la vitesse du vent météorologique n'est donc pas un paramètre utile aux essais des capteurs. La vitesse de l'air mesurée au niveau du capteur permet de définir clairement les conditions de réalisation des essais.

6.1.2.5.2 Exactitude requise

La vitesse de l'air environnant au niveau de la surface avant du capteur doit être mesurée avec une incertitude type de $0,5 \text{ ms}^{-1}$ tant pour les essais à l'intérieur que pour les essais à l'extérieur. Dans des conditions d'essai à l'extérieur, la vitesse de l'air environnant est rarement constante, et sujette à de fréquentes rafales de vent. La mesure d'une vitesse moyenne de l'air est par conséquent requise au cours de la période d'essai. Ceci peut être obtenu en faisant la moyenne arithmétique des valeurs échantillonnées ou par une intégration temporelle tout au long de la période d'essai.

6.1.2.5.3 Montage des sondes de mesure de la vitesse de l'air au niveau du capteur

Au cours des essais effectués à l'intérieur, la vitesse de l'air peut varier d'une extrémité du capteur à l'autre. Une série de mesures de la vitesse de l'air à une distance comprise entre 10 mm et 50 mm en avant de l'ouverture du capteur doit par conséquent être effectuée, en des positions également réparties sur la superficie de ce dernier.

Une valeur moyenne doit ensuite être déterminée. Les mesurages de la vitesse de l'air effectués à l'intérieur dans des conditions stables doivent être réalisés en amont et en aval des points d'essai de performances afin de prévenir tout obscurcissement de l'ouverture du capteur.

Lors de la réalisation d'essais à l'extérieur en des points où la vitesse moyenne du vent est inférieure à 2 ms^{-1} , un ventilateur (source de vent artificiel) doit être utilisée, et des mesures anémométriques doivent être prévues pour assurer un mesurage continu de la vitesse de l'air. Cet anémomètre doit être monté sur un panneau de manière à présenter une surface continue orientée vers le ventilateur du bord du capteur jusqu'à 0,3 m en arrière de l'anémomètre. L'uniformité de la vitesse de l'air dans le champ d'ouverture (entrée) du capteur doit être vérifiée. La vitesse du vent doit être mesurée lors du réglage du ventilateur, en utilisant un anémomètre à main à une hauteur comprise entre 10 mm et 50 mm au-dessus du plan d'ouverture du capteur.

Dans les lieux venteux, la vitesse du vent doit être mesurée à proximité du capteur, à mi-hauteur de ce dernier. La sonde ne doit pas être protégée contre le vent et ne doit projeter aucune ombre sur le capteur au cours des périodes d'essai.

NOTE La valeur enregistrée de la vitesse du vent est différente de la vitesse de l'air au-dessus de l'ouverture du capteur.

6.1.2.6 Temps écoulé

Le temps écoulé doit être mesuré avec une incertitude type de 0,2 %.

6.1.2.7 Instrumentation/enregistreurs de données

La plus petite division de l'instrument ou du dispositif d'instrumentation ne doit en aucun cas correspondre à plus de 2 fois l'incertitude type spécifiée. Par exemple, si l'incertitude type spécifiée est de 0,1 K, la plus petite division ne doit pas dépasser 0,2 °C. Les techniques numériques et les intégrateurs électroniques doivent avoir une incertitude type inférieure ou égale à 1,0 % de la valeur mesurée.

Les enregistreurs analogiques et numériques doivent avoir une défaillance inférieure ou égale à 0,5 % de la lecture à pleine échelle et une constante de temps inférieure ou égale à 1 s. L'indication de signal maximale doit être comprise entre 50 % et 100 % de la pleine échelle. L'impédance d'entrée des enregistreurs doit être supérieure à 1 000 fois l'impédance des sondes ou être égale à 10 M., selon la plus grande des deux valeurs.

6.1.2.8 Superficie du capteur

La superficie du capteur (aire de l'absorbeur, superficie hors-tout ou superficie d'entrée) doit être mesurée avec une incertitude type de 0,3 %. Les mesures de la superficie doivent être effectuées à une température du capteur de $(20 \pm 10) \text{ °C}$ et dans les conditions de la pression de service lorsque l'absorbeur est constitué d'un matériau organique.

6.1.2.9 Contenance du capteur

La contenance en fluide du capteur doit être mesurée avec une exactitude minimale de 10 %. Les mesures peuvent être effectuées soit par pesée du capteur vide, puis rempli d'eau, soit en procédant au remplissage et à la vidange du capteur afin de déterminer la masse de fluide qu'il contient.

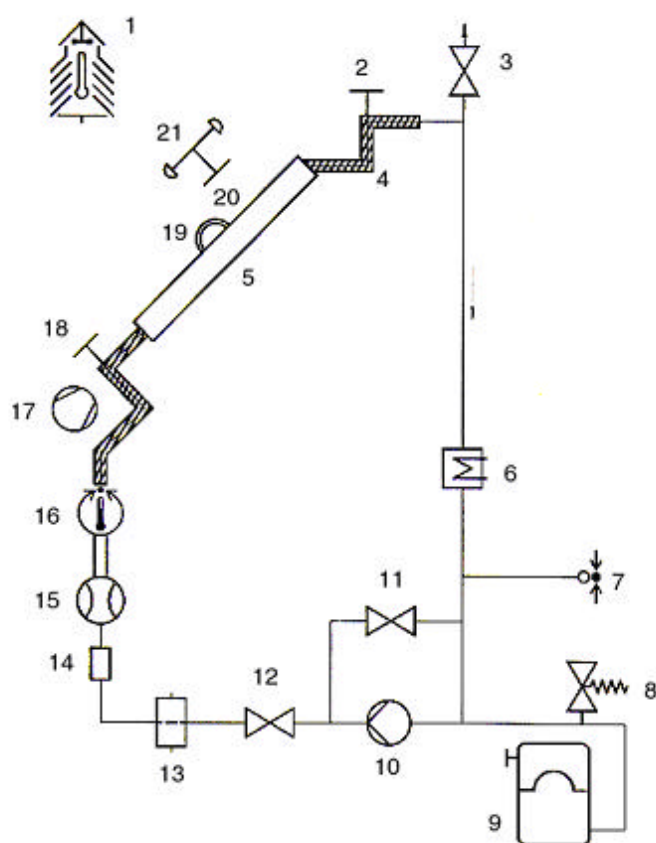
La température du fluide doit correspondre à la température ambiante à $\pm 2 \text{ K}$ près.

Une détermination par calcul, fondée sur les données géométriques, est également possible.

6.1.3 Installation d'essai

6.1.3.1 Considération d'ordre général

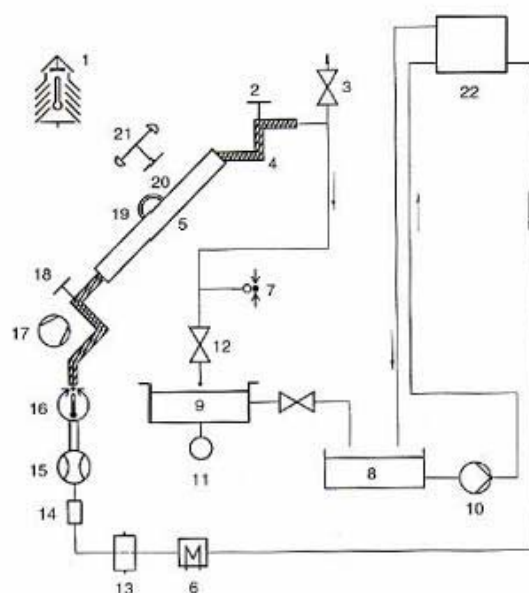
Les Figures 2 et 3 donnent des exemples de configurations d'essai des capteurs solaires utilisant un liquide comme fluide caloporteur. Ces figures ne sont que schématiques et ne sont donc pas à l'échelle.



Légende

- | | |
|---|--|
| 1 Sonde de température de l'air environnant | 12 Soupape de régulation de débit |
| 2 Sonde de température (t_g) | 13 Filtre (200 μ m) |
| 3 Évent | 14 Voyant |
| 4 Tuyau isolé | 15 Débitmètre |
| 5 Capteur solaire | 16 Régulateur de température secondaire |
| 6 Soupape de sûreté | 17 Ventilateur (générateur de vent artificiel) |
| 7 Manomètre | 18 Sonde de température (t_{in}) |
| 8 Chauffage/refroidisseur pour la régulation de la température primaire | 19 Pyrgéomètre |
| 9 Vase d'expansion | 20 Pyranomètre |
| 10 Pompe | 21 Anémomètre |
| 11 Clapet de dérivation | |

Figure 2 — Exemple de boucle d'essai fermée



Légende

- | | |
|--|---|
| 1 Sonde de température de l'air environnant | 12 Soupape de régulation de débit |
| 2 Sonde de température (t_e) | 13 Filtre (200 μ m) |
| 3 Évent | 14 Voyant |
| 4 Tuyau isolé | 15 Débitmètre |
| 5 Capteur solaire | 16 Régulateur de température secondaire |
| 6 Réservoir | 17 Ventilateur |
| 7 Manomètre | 18 Sonde de température (t_{in}) |
| 8 Chauffage/refroidisseur pour régulation de la température primaire | 19 Pyrgéomètre |
| 9 Récipient de pesage | 20 Pyranomètre |
| 10 Pompe | 21 Anémomètre |
| 11 Balance | 22 Réservoir à niveau constant |

Figure 3 — Exemple de boucle d'essai ouverte

6.1.3.2 Fluide caloporteur

Le fluide caloporteur utilisé pour les essais réalisés avec le capteur peut être de l'eau ou un fluide recommandé par le fabricant du capteur. La capacité thermique massique et la masse volumique du fluide utilisé doivent être connues à ± 1 % près dans la plage de températures de fluide utilisée lors des essais. Ces valeurs sont données pour l'eau à l'Annexe I.

Il peut se révéler nécessaire de remplacer certains fluides de manière périodique afin de s'assurer que leurs propriétés demeurent bien définies. Le débit masse ou volume du fluide caloporteur doit être le même tout au long de la série d'essais utilisée pour déterminer les paramètres de la courbe de rendement thermique, de la constante de temps et de l'angle d'incidence pour un capteur donné.

6.1.3.3 Tuyauterie et accessoires

La tuyauterie de la boucle de captage doit être anticorrosion et (pour l'essai des capteurs vitrés) appropriée à un fonctionnement à des températures pouvant atteindre 95 °C. En cas d'utilisation de fluides non aqueux, leur compatibilité avec les matériaux constitutifs doit alors être confirmée. Les tuyaux utilisés sont généralement courts. En particulier, la longueur de tuyauterie entre la sortie du régulateur de température de fluide et l'ouverture du capteur doit être réduite au minimum, afin de réduire les effets de l'environnement sur la température d'entrée du fluide.

Cette section de tuyauterie doit être isolée afin de garantir un taux de perte thermique inférieur à $0,2 \text{ WK}^{-1}$, et doit être protégée par un revêtement résistant aux intempéries et réfléchissant. La tuyauterie entre les sondes de température et le capteur (entrée et sortie) doit être protégée au moyen d'enveloppes isolantes et réfléchissantes (également résistant aux intempéries dans le cas des mesurages à l'extérieur) recouvrant la position des sondes de température, de sorte que les valeurs de gain ou de perte de température calculées le long de l'une ou l'autre des sections de tuyauterie ne soient pas supérieures à $\pm 0,01 \text{ K}$ dans les conditions d'essai. La présence de mélangeurs, tels que des coudes, est requise immédiatement en amont des sondes de température (voir en 6.1.2.3).

NOTE 1 Un tube transparent court est généralement installé dans la boucle de fluide de manière à observer toute bulle d'air et d'autres contaminants éventuellement présents. Il convient de placer le tube transparent à proximité de l'ouverture du capteur, mais il y a lieu que celui-ci n'exerce aucune influence sur la régulation de la température d'entrée du fluide ou sur les mesures de la température.

Un rotamètre est approprié pour cet usage, dans la mesure où il donne de manière simultanée une indication indépendante et visuelle du débit. Il convient de placer un purgeur à la sortie du capteur et en d'autres points du circuit pouvant faire l'objet d'une accumulation d'air.

NOTE 2 Il est recommandé de placer des filtres en amont du débitmètre et de la pompe, conformément à la pratique habituelle (un filtre normal de $200 \mu\text{m}$ d'ouverture convient généralement).

6.1.3.4 Pompe et dispositifs de régulation du débit

La pompe doit être placée dans la boucle d'essai du capteur de sorte que la chaleur qu'elle dégage et qui se dissipe dans le fluide n'affecte ni la régulation de la température d'entrée du capteur, ni les mesures de l'élévation de température du fluide dans le capteur. Avec certains types de pompe, une boucle de dérivation simple et un pointeau à commande manuelle peuvent assurer une régulation adéquate du débit. Un dispositif de régulation du débit approprié peut, le cas échéant, être ajouté afin de stabiliser le débit massique.

La pompe et le dispositif de régulation du débit doivent être en mesure de maintenir le débit massique ou volumique dans le capteur à 1 % en dépit des variations de température, pour toute température d'entrée sélectionnée dans la plage de fonctionnement.

6.1.3.5 Régulation de la température du fluide caloporteur

La boucle d'essai du capteur doit être en mesure de maintenir une température d'entrée du capteur constante pour tout niveau de température sélectionné dans la plage de fonctionnement. Étant donné que la mesure des valeurs instantanées des températures d'entrée et de sortie du fluide permet de déterminer le taux de captage de l'énergie dans le capteur, il résulte que de faibles variations de la température d'entrée peuvent entraîner des défaillances au niveau des taux de captage de l'énergie ainsi déterminés. Il est particulièrement important d'éviter toute dérive de la température d'entrée du capteur.

NOTE 1 Les boucles d'essai peuvent prévoir deux phases de régulation de la température d'entrée du fluide, comme l'indiquent les Figures 2 et 3. Le régulateur de température primaire est généralement placé en amont du débitmètre et du régulateur de débit. Il convient de faire appel à un régulateur de température secondaire pour régler la température du fluide immédiatement en amont de l'entrée du capteur. Il est généralement recommandé de ne pas utiliser ce régulateur de température secondaire pour régler la température du fluide de plus de $\pm 2 \text{ K}$.

NOTE 2 La présence d'un régulateur de température secondaire à proximité de l'ouverture du capteur se révèle utile, à condition qu'elle ne soit pas la source de problèmes lors de la mesure de la température d'entrée moyenne «de cuvette». D'autre part, il est généralement possible d'utiliser des dérivations afin de réduire l'influence de la perte thermique et d'améliorer les caractéristiques de régulation des circuits de chauffage. Un débit constant et élevé dans ces circuits permet une régulation PID à action I et D rapide tout en permettant de sélectionner le débit du capteur.

6.1.4 Essai de rendement à l'état stationnaire à l'extérieur

6.1.4.1 Installation d'essai

Le capteur doit être monté conformément aux spécifications données en 6.1.1, et raccordé à une boucle d'essai du type décrit en 6.1.3. Le fluide caloporteur doit circuler de la partie inférieure vers la partie supérieure du capteur, ou de la manière recommandée par le fabricant.

6.1.4.2 Conditionnement préalable du capteur

Le capteur doit faire l'objet d'un examen visuel et tout dommage doit être consigné. La couverture de l'ouverture du capteur doit être nettoyée avec le plus grand soin. En cas d'humidité effective des composants du capteur, le fluide caloporteur doit alors être mis en circulation à une température d'environ 80 °C pendant la durée nécessaire au séchage de l'isolation et de l'enveloppe du capteur.

Dans le cas où cette forme de conditionnement préalable est sélectionnée, elle doit être consignée avec les résultats d'essai. L'air occlus doit être évacué de la tuyauterie du capteur au moyen d'un reniflard ou en faisant circuler le fluide à un débit élevé, le cas échéant. Le fluide doit faire l'objet d'un examen pour détecter l'air ou les particules entraînées, et ce, par le tube transparent installé dans la tuyauterie de la boucle de fluide. Les contaminants doivent être éliminés.

Le capteur vide doit être exposé à une irradiation supérieure à 700 Wm^{-2} pendant 5 h.

6.1.4.3 Conditions d'essai

Au moment de l'essai, l'irradiance solaire totale au niveau du plan d'ouverture du capteur doit être supérieur à 700 Wm^{-2} .

NOTE 1 Lorsque le fabricant impose des restrictions d'utilisation concernant l'irradiance maximale (en aucun cas toutefois l'irradiance ne doit être inférieure à 800 Wm^{-2}), cette exigence peut être intégrée à l'essai. Il convient d'indiquer clairement cette valeur maximale.

L'angle d'incidence d'irradiance solaire direct au niveau de l'ouverture du capteur doit se situer dans la plage de variation maximale de $\pm 2 \%$ du facteur d'angle d'incidence par rapport à sa valeur à une incidence normale. Dans le cas des capteurs simples plans vitrés, cette condition est généralement respectée si l'angle d'incidence d'irradiance solaire direct au niveau de l'ouverture du capteur est inférieur à 20° .

Des modèles particuliers peuvent toutefois nécessiter des angles bien inférieurs. Il est possible de déterminer un facteur d'angle d'incidence afin de caractériser les performances du capteur à d'autres angles (voir en 6.1.7).

Lorsque l'irradiance solaire thermique est inférieure à 30 %, son influence peut être négligée. Le capteur ne doit pas être soumis à essai à des niveaux d'irradiance diffuse supérieurs à 30 %.

La valeur moyenne des vitesses de l'air parallèlement à l'ouverture du capteur, compte tenu des variations spatiales au niveau de ce dernier ainsi que des variations temporelles au cours de la période d'essai, doit être de $(3 \pm 1) \text{ ms}^{-1}$.

Sauf spécification contraire, le débit du fluide doit être réglé à approximativement $0,02 \text{ kgs}^{-1}$ par mètre carré de superficie de l'entrée du capteur. Le débit doit demeurer stable à $\pm 1 \%$ près de la valeur de consigne au cours de chaque période d'essai et ne doit pas varier de plus de $\pm 10 \%$ de la valeur de consigne d'une période d'essai à l'autre.

Le respect des spécifications du fabricant permet de s'adapter aux essais effectués avec d'autres débits.

Avec certains capteurs, le débit de fluide recommandé peut être proche de la transition entre le régime laminaire et le régime turbulent. Ceci peut entraîner une instabilité du coefficient de transfert thermique interne ainsi que des variations au niveau des mesures du rendement du capteur. Afin de caractériser de manière reproductible un capteur de ce type, il peut se révéler nécessaire d'utiliser un débit plus élevé, mais ceci doit être clairement indiqué avec les résultats d'essai.

NOTE 2 En régime de transition, il convient de régler tout d'abord le débit à un niveau élevé (turbulent) puis de le réduire à la valeur du point de consigne. Ceci évite toute transition du régime laminaire vers le régime turbulent lors des mesurages.

Les mesures de différence de température du fluide inférieure à 1 K ne doivent pas être intégrées aux résultats d'essai en raison des problèmes connexes d'erreur des instruments.

6.1.4.4 Mode opératoire

Soumettre le capteur à l'essai dans sa plage de températures de service dans des conditions de ciel sans nuage afin de déterminer sa caractéristique de performance. Les points de données satisfaisant aux exigences indiquées ci-dessous doivent être obtenus pour au moins quatre températures d'entrée de fluide réparties de manière égale sur la plage de températures de service du capteur. Sélectionner si possible une température d'entrée de sorte que la température moyenne du fluide dans le capteur soit égale à la température de l'air ambiant à ± 3 K près, afin d'obtenir une détermination précise de η_0 . Lorsque de l'eau est utilisée comme fluide caloporteur, la température maximale doit avoisiner 80 °C au minimum. Une valeur maximale de T_m d'au moins 0,09 est recommandé dans le cas où les conditions d'essai le permettent.

Au moins quatre points de données indépendants doivent être obtenus pour chaque température d'entrée du fluide afin de fournir un nombre total de 16 points de données. Lorsque les conditions d'essai l'autorisent, relever un nombre égal de points de données avant et après le midi solaire pour chaque température d'entrée du fluide. Cette dernière condition n'est pas requise lorsque le déplacement des capteurs accompagne la trajectoire azimutale et la hauteur du soleil grâce à système suiveur automatique.

Au cours d'un essai, effectuer les mesurages de la manière spécifiée en 6.1.4.5. Les résultats correspondants peuvent alors être utilisés pour identifier les périodes d'essai à partir desquelles des points de données satisfaisants peuvent être calculés.

6.1.4.5 Mesures

Les mesures effectuées doivent concerner les données suivantes :

- la superficie hors-tout du capteur A_G , l'aire de l'absorbeur A_A et la superficie d'entrée A_a ;
- la contenance en fluide ;
- l'irradiance solaire hémisphérique au niveau de l'ouverture du capteur ;
- l'irradiance solaire diffus au niveau de l'ouverture du capteur (uniquement à l'extérieur) ;
- l'angle d'incidence d'irradiance solaire direct (cet angle peut également être déterminé par calcul) ;
- la vitesse de l'air parallèlement au niveau d'ouverture du capteur ;
- la température de l'air environnant ;
- la température du fluide caloporteur à l'entrée du capteur ;

- la température du fluide caloporteur à la sortie du capteur ;
- le débit du fluide caloporteur.

6.1.4.6 Durée de l'essai (état stationnaire)

La durée de l'essai en un point de données à l'état stationnaire doit comporter une période de conditionnement préalable au moins égale à 4 fois la constante de temps du capteur (lorsqu'elle est connue), ou d'une durée minimale de 15 min (si la constante de temps n'est pas connue), à la température de fluide appropriée à l'entrée du capteur, suivie d'une période de mesurage à l'état stationnaire au moins égale à 4 fois la constante de temps du capteur (lorsqu'elle est connue), ou d'une durée minimale de 10 min (si la constante de temps n'est pas connue).

Un capteur est considéré avoir fonctionné dans des conditions d'état stationnaire sur une période de mesurage donnée si aucun des paramètres expérimentaux ne s'écarte de sa valeur moyenne d'une valeur supérieure aux limites indiquées dans le Tableau 5 sur la période de mesurage. Afin d'établir l'existence d'un état stationnaire, les valeurs moyennes de chaque paramètre relevées sur des périodes successives de 30 s doivent être comparées à la valeur moyenne relevée sur la période de mesurage.

Tableau 5 — Écart autorisé des paramètres mesurés au cours d'une période de mesurage

Paramètre	Écart autorisé, par rapport à la valeur moyenne
Irradiance solaire d'essai (global)	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Température de l'air environnant (intérieur)	$\pm 1 \text{ K}$
Température de l'air environnant (extérieur)	$\pm 1,5 \text{ K}$
Débit masse du fluide	$\pm 1 \%$
Température du fluide à l'entrée du capteur	$\pm 0,1 \text{ K}$

6.1.4.7 Présentation des résultats

Les mesures doivent être regroupées pour obtenir un ensemble de points de données conforme aux conditions d'essai requises (voir en 6.1.4.3), y compris les conditions propres à un fonctionnement à l'état stationnaire. Ces points de données doivent être présentés à l'aide des formulaires donnés à l'Annexe D.

6.1.4.8 Calcul du rendement d'un capteur

6.1.4.8.1 Généralités

La puissance utile réelle $\dot{Q}$ captée, est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$\dot{Q} = \dot{m} c_f \Delta T \quad (3)$$

Une valeur de c_f correspondant à la température moyenne du fluide doit être utilisée. Lorsque la valeur m est obtenue à partir de la mesure du débit volumique, la masse volumique doit alors être déterminée pour la température du fluide circulant dans le débitmètre.

6.1.4.8.2 Énergie solaire recueillie par le capteur

Il n'est pas nécessaire d'utiliser un facteur d'angle d'incidence, tel que décrit en 6.1.7, pour les capteurs simples plans vitrés, à condition que l'angle d'incidence soit inférieur à 20° .

L'énergie solaire recueillie, AG , lorsqu'elle renvoie à l'aire de l'absorbeur et A_A lorsqu'elle renvoie à la superficie d'entrée du capteur. En intégrant l'efficacité du capteur, la puissance utile réelle $\dot{Q}$ captée, peut s'écrire :

$$\dot{Q} = AG\eta \quad (4)$$

6.1.4.8.3 Différence de température réduite

Lorsque la température moyenne du fluide caloporteur t_m est utilisée où :

$$t_m = t_{in} + \frac{T}{2} \quad (5)$$

la différence de température réduite est calculée comme suit :

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (6)$$

6.1.4.8.4 Représentation graphique du rendement instantané hors-tout

6.1.4.8.4.1 Généralités

Le rendement instantané η doit s'obtenir par ajustement de la courbe statistique, en utilisant la méthode des moindres carrés, afin d'obtenir une courbe du rendement instantané de la forme suivante :

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* - a_2 G (T_m^*)^2 \quad (7)$$

Une courbe de second ordre pouvant être obtenue par régression des moindres carrés doit généralement être utilisée. Un ajustement de second ordre est à proscrire si la valeur déduite pour a_2 est négative. Les conditions d'essai doivent être consignées sur les feuilles de données de l'Annexe D.

Le cas échéant, les tableaux de mesure des performances du capteur sont admises.

6.1.4.8.4.2 Rendement instantané fondé sur l'aire de l'absorbeur/superficie d'entrée

Le rendement instantané se calcule par référence à la différence de température réduite T_m^* , à l'aide des équations suivantes :

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (8)$$

6.1.4.8.4.3 Conversion des caractéristiques de l'essai des performances thermiques

Afin de convertir les caractéristiques d'essai des performances thermiques, les conversions de base suivantes doivent être employées :

$$\eta_{0A} = \eta_{0a} \frac{A_a}{A_A} \quad (9)$$

$$a_{1A} = a_{1a} \frac{A_a}{A_A} \quad (10)$$

$$a_{2A} = a_{2a} \frac{A_a}{A_A} \quad (11)$$

6.1.4.8.5 Rendement d'un capteur

En utilisant les équations 4 et 8, le rendement du capteur par module peut s'écrire comme suit :

$$\dot{Q} = A \cdot G \cdot \left(\eta_0 - a_1 \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_a)}{G} \right) \quad (4.1)$$

Où la surface est A_A et qu'elle renvoie à la surface de l'absorbeur et A_a lorsqu'elle renvoie à la surface de l'absorbeur du capteur.

Le rendement du capteur par module doit être présenté graphiquement comme une fonction de la différence de température entre la température moyenne du fluide et la température ambiante ($t_m - t_a$) utilisant $G = 1\,000 \text{ W/m}^2$. Le produit $AG\eta_0$ doit être désigné comme W_{peak} .

6.1.5 Essai de rendement à l'état stationnaire à l'aide d'un simulateur d'irradiance solaire

6.1.5.1 Généralités

Les performances de la plupart des capteurs sont meilleures dans des conditions d'irradiance solaire directe que dans des conditions d'irradiance solaire diffuse et la simulation solaire diffuse est actuellement encore peu connue. La présente méthode d'essai est par conséquent conçue pour être utilisée uniquement pour des simulateurs permettant de diriger sur le capteur un faisceau d'irradiance solaire simulée d'incidence quasi-normale.

Dans la pratique, il est difficile de produire un faisceau uniforme d'irradiance solaire simulée ; un niveau d'irradiance moyen doit par conséquent être mesuré au niveau de l'ouverture du capteur.

6.1.5.2 Simulateur d'irradiance solaire pour les essais de rendement à l'état stationnaire

Les caractéristiques d'un simulateur pour essais de rendement à l'état stationnaire doivent être les suivantes :

Les lampes doivent pouvoir produire une irradiance moyenne au niveau de l'ouverture du capteur d'au moins 700 Wm^{-2} . Des valeurs comprises dans la plage 300 Wm^{-2} à $1\,000 \text{ Wm}^{-2}$ peuvent également être utilisées pour des essais spécifiques, à condition que les exigences d'exactitude indiquées dans le Tableau 5 puissent être satisfaites et que les valeurs d'irradiance soient mentionnées dans le rapport d'essai.

L'irradiance en un point au niveau de l'ouverture du capteur ne doit à aucun moment différer d'irradiance moyenne au niveau de l'entrée de plus de $\pm 15 \%$. La distribution spectrale d'irradiance solaire simulée doit être approximativement équivalente à celle du spectre solaire à la masse optique de l'air 1,5.

Lorsque les capteurs comportent des absorbeurs ou des couvertures à spectre sélectif, une vérification doit permettre d'établir l'effet de la différence de spectre sur le produit $(\tau\alpha)$ pour le capteur. Lorsque les valeurs effectives de $(\tau\alpha)$ dans les conditions d'utilisation du simulateur et du spectre d'irradiance solaire à une masse optique de l'air de 1,5 diffèrent de plus de $\pm 1 \%$, les résultats d'essai doivent alors être corrigés.

$$\text{Effective}(t_a) = \frac{\int_{0,3\mu m}^{3\mu m} t(\lambda) a(\lambda) G(\lambda) d\lambda}{\int_{0,3\mu m}^{3\mu m} G(\lambda) d\lambda} \quad (12)$$

Le mesurage des qualités spectrales du simulateur solaire doit s'effectuer dans le plan du capteur dans la plage de longueurs d'onde comprise entre 0,3 μm et 3 μm , et dans des largeurs de bandes inférieures ou égales à 0,1 μm .

Pour certains types de lampes, à savoir les lampes aux halogénures, il est recommandé de procéder à la détermination spectrale initiale au terme de la période de rodage de ces lampes. La quantité d'énergie thermique infrarouge au niveau du plan du capteur doit faire l'objet de mesures appropriées (mesures dans la plage des longueurs d'onde si possible supérieures à environ 2,5 μm et inférieures à 4 μm) et doit être consignée également de manière appropriée (voir en 6.1.2.2).

L'irradiance thermique au niveau du capteur ne doit pas être supérieur à celui de la cavité d'un corps noir à la température de l'air ambiant, de plus de 5 % d'irradiance totale.

La collimation du simulateur doit être telle que les angles d'incidence d'au moins 80 % d'irradiance solaire simulée se situent dans la plage de variation maximale de ± 2 % du facteur d'angle d'incidence du capteur, par rapport à sa valeur à une incidence normale. Dans le cas des capteurs plans types, cette condition est généralement respectée si au moins 80 % d'irradiance solaire simulée reçue en un point quelconque du capteur soumis à essai proviennent effectivement d'une région du simulateur d'irradiance solaire contenue dans un angle formé inférieur ou égal à 60° en tout point d'observation.

NOTE 1 Les exigences supplémentaires concernant la collimation s'appliquent à la mesure du facteur d'angle d'incidence (voir en 6.1.7.2).

La méthode utilisée pour mesurer l'irradiance au cours de la période d'essai doit produire des valeurs d'irradiance moyenne conformes à celles déterminées par intégration spatiale à ± 1 % près.

NOTE 2 La distribution spectrale des lampes (utilisation intérieure) et du ciel (utilisation à l'extérieur) entraîne effectivement de très grandes divergences au niveau des absorbeurs ou des couvertures à spectre sélectif.

6.1.5.3 Installation d'essai

Les exigences spécifiées en 6.1.1 relatives au montage et à l'emplacement des capteurs doivent être observées.

Un ventilateur doit être utilisé avec un simulateur solaire pour produire un débit d'air conformément au 6.1.1.8.

6.1.5.4 Conditionnement préalable du capteur

Le mode opératoire indiqué en 6.1.4.2 doit être suivi.

6.1.5.5 Mode opératoire

Soumettre le capteur à l'essai dans sa plage de températures de service d'une manière quasiment similaire à celle spécifiée pour les essais à l'extérieur (voir en 6.1.4.4).

Huit points d'essai doivent toutefois convenir aux essais avec des simulateurs solaires à condition d'utiliser au moins quatre températures d'entrée différentes et d'allouer un temps adéquat pour la stabilisation des températures. Il convient, dans toute la mesure du possible, qu'une des températures d'entrée soit égale à la température de l'air ambiant à ± 3 K près. Au cours d'un essai, effectuer les mesurages de la manière spécifiée en 6.1.5.6. Ces mesures peuvent alors être utilisées pour identifier les périodes d'essai à partir desquelles des points de données satisfaisants peuvent être calculés.

6.1.5.6 Mesures lors d'essais dans des simulateurs d'irradiance solaire

6.1.5.6.1 Généralités

Les mesures doivent être effectuées conformément au 6.1.4.

6.1.5.6.2 Mesurage d'irradiance solaire simulée

NOTE L'irradiance solaire simulée varie généralement dans l'espace au niveau de l'entrée du capteur ainsi que dans le temps pour un essai donné. L'utilisation d'une procédure d'intégration d'irradiance au niveau de l'entrée du capteur se révèle par conséquent nécessaire. Les variations d'irradiance en fonction de la durée sont généralement dues aux fluctuations de l'alimentation en électricité et à l'altération de la puissance des lampes en fonction de la température et du temps de fonctionnement. Une durée supérieure à 30 min se révèle nécessaire dans le cas de certaines lampes pour parvenir à un état de fonctionnement stable lors de leur période d'échauffement initial.

Des pyranomètres peuvent être utilisés pour mesurer l'irradiation d'irradiance solaire simulé conformément au 6.1.2.1. D'autres types de détecteurs d'irradiance peuvent également être utilisés à condition qu'ils aient été étalonnés pour l'irradiance solaire simulé. Les détails des instruments et des méthodes utilisés pour leur étalonnage doivent être consignés avec les résultats d'essai. La répartition d'irradiance au niveau de l'ouverture du capteur doit être mesurée au moyen d'une grille présentant un espacement maximal de 150 mm, et la moyenne spatiale doit être déduite par simple calcul de la moyenne arithmétique.

6.1.5.6.3 Mesurage d'irradiance thermique des simulateurs

Il est vraisemblable que l'irradiance thermique d'un simulateur solaire sera supérieure à l'irradiance thermique extérieur classique. Il doit par conséquent être mesuré afin de garantir qu'il ne dépasse pas la limite indiquée au 6.1.5.8.

L'irradiance thermique moyen au niveau du plan d'essai du capteur doit être déterminée toutes les fois que des modifications du capteur sont susceptibles d'affecter ce paramètre, et au moins une fois par an. L'irradiance thermique moyen au niveau du plan du capteur et la date de sa dernière mesure doivent être consignées avec les résultats d'essai du capteur.

6.1.5.6.4 Température de l'air ambiant des simulateurs

La température de l'air ambiant t_a dans les simulateurs doit être mesurée en prenant la moyenne de plusieurs valeurs. Les sondes doivent, le cas échéant, être protégées afin de réduire au minimum l'échange radiatif. La température de l'air à la sortie du ventilateur doit être utilisée pour les calculs des performances du capteur.

6.1.5.7 Durée de l'essai

La durée de l'essai peut être déterminée de la même manière que pour les essais à l'état stationnaire à l'extérieur.

L'environnement plus stable d'une installation d'essai à l'intérieur peut permettre de maintenir plus aisément les conditions d'état stationnaire qu'une installation d'essai à l'extérieur, mais une durée appropriée doit néanmoins être allouée pour assurer un fonctionnement approprié du capteur à l'état stationnaire tel que spécifié au 6.1.4.6.

6.1.5.8 Conditions d'essai

Les conditions décrites en 6.1.4.3 pour les essais à l'extérieur doivent être observées ainsi que les dispositions supplémentaires suivantes :

- l'irradiance thermique dans le plan d'ouverture du capteur ne doit pas dépasser celui de la cavité d'un corps noir à la température de l'air ambiant de plus de 5 % d'irradiance totale ;

- la température de l'air provenant du ventilateur ne doit pas différer de la température de l'air ambiant de plus de ± 1 K.

6.1.5.9 Calcul et présentation des résultats

L'analyse présentée au 6.1.4.8 pour les essais à l'extérieur s'applique également aux essais avec simulateur solaire et les résultats doivent être présentés dans les feuilles de données de l'Annexe D.

6.1.6 Détermination de la capacité thermique effective et de la constante de temps d'un capteur

6.1.6.1 Généralités

La capacité thermique effective et la constante de temps d'un capteur sont des paramètres importants qui déterminent les performances transitoires de ce dernier.

Un capteur peut généralement être considéré comme une combinaison de masses, chaque masse ayant une température différente. En fonctionnement, chaque composant du capteur répond de manière différente à une modification des conditions de fonctionnement ; il est donc utile de prendre en considération une capacité thermique effective pour l'ensemble du capteur.

La capacité thermique effective dépend malheureusement des conditions de fonctionnement et n'est pas un paramètre du capteur à valeur unique. Plusieurs méthodes d'essai différentes ont été utilisées pour mesurer ou calculer la capacité thermique effective des capteurs et il apparaît que des résultats similaires peuvent être obtenus en employant des méthodes relativement différentes. Tout comme il n'existe pas de valeur unique de la capacité thermique effective, il n'existe pas non plus de constante de temps globale unique pour un capteur donné. Pour la plupart des capteurs, le facteur principal jouant sur le temps de réponse est le temps de transit du fluide ; la réponse de premier ordre varie donc en fonction du débit de ce fluide. Les temps de réponse des autres éléments du capteur sont également différents, ce qui donne une constante de temps globale effective qui dépend des conditions de fonctionnement.

6.1.6.2 Détermination de la capacité thermique

La capacité thermique du capteur C (exprimée en joules par kelvin) est calculée comme la somme, pour chaque élément constitutif du capteur (verre, absorbeur, liquide contenu, isolation), du produit de sa masse m_i (exprimée en kilogrammes), de sa capacité thermique massique c_i (exprimée en joules par kilogramme kelvin) et d'un facteur de pondération p_i :

$$C = \sum_i p_i m_i c_i \quad (13)$$

Le facteur de pondération p_i (compris entre 0 et 1) permet de tenir compte du fait que certains éléments ne jouent qu'un rôle partiel dans l'inertie thermique du capteur. Les valeurs de p_i sont données dans le Tableau 6.

Tableau 6 — Valeurs des facteurs de pondération

Éléments	p_i
Absorbeur	1
Isolation	0,5
Fluide caloporteur	1
Vitrage externe	$0,01 \cdot a_1$
Deuxième vitrage	$0,2 \cdot a_1$
Troisième vitrage	$0,35 \cdot a_1$

Dans le cas des installations à capteurs vidangeables vers l'intérieur et des installations à capteurs vidangeables vers l'extérieur, il convient de consigner la capacité du capteur plein d'eau et vide.

La capacité thermique peut également se mesurer en appliquant les procédures décrites à l'Annexe G.

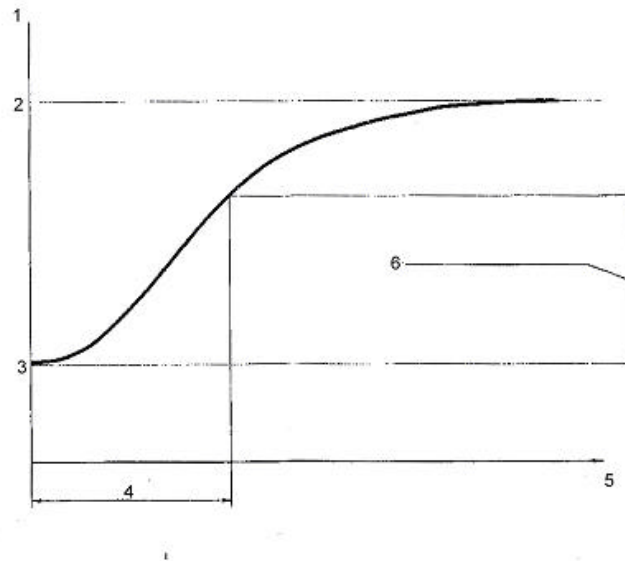
6.1.6.3 Mode opératoire permettant de déterminer la constante de temps d'un capteur (facultatif)

Effectuer les essais soit à l'extérieur, soit dans un simulateur d'irradiance solaire. Dans l'un comme l'autre des cas, l'irradiance solaire au niveau du plan d'ouverture du capteur doit être supérieur à 700 Wm^{-2} . Le fluide caloporteur doit circuler dans le capteur au même débit que celui utilisé au cours des essais de rendement thermique du capteur. Protéger l'ouverture du capteur contre l'irradiance solaire au moyen d'une couverture réfléchissante et régler la température du fluide caloporteur au niveau de l'entrée du capteur approximativement à la température de l'air ambiant. Une fois les conditions d'état stationnaire atteintes, retirer la couverture et poursuivre les mesurages jusqu'à l'obtention de nouvelles conditions d'état stationnaire. Pour les besoins de l'essai décrit ici, des conditions d'état stationnaire sont supposées effectives lorsque la variation de la température de sortie du fluide est inférieure à $0,05 \text{ K}$ par minute. Les grandeurs suivantes doivent être mesurées conformément au 6.1.2 :

- température d'entrée du fluide dans le capteur (t_{in}) ;
- température de sortie du fluide du capteur (t_e) ;
- température de l'air environnant (t_a).

6.1.6.4 Calcul de la constante de temps du capteur (facultatif)

La différence entre la température du fluide à la sortie du capteur et la température de l'air environnant ($t_e - t_a$) doit faire l'objet d'une courbe établie en fonction du temps, en commençant par la condition d'état stationnaire initiale ($(t_e - t_a)_0$) et en poursuivant le tracé jusqu'à l'obtention de la seconde condition d'état stationnaire à une température plus élevée ($(t_e - t_a)_2$) (voir Figure 4).



Légende

- 1 $t_e - t_a$
- 2 $(t_e - t_a)^2$
- 3 $(t_e - t_a)^0$
- 4 τ_c
- 5 Temps
- 6 $0,632 ((t_e - t_a)^2 - (t_e - t_a)^0)$

Figure 4 — Constante de temps du capteur

La constante de temps τ_c du capteur est définie comme le temps écoulé entre le démontage de la couverture et le point où la température de sortie du capteur augmente de 63,2 % de l'augmentation totale entre $(t_e - t_a)^0$ et $(t_e - t_a)^2$. Si le temps de réponse des sondes de température est significatif comparé au temps de réponse mesuré du capteur, il doit alors être pris en compte dans le calcul des résultats d'essai.

6.1.7 Facteur d'angle d'incidence du capteur

6.1.7.1 Généralités

La valeur à l'incidence normale $(\tau\alpha)_e$ peut être substituée au produit des facteurs de transmission et d'absorption effectifs $(\tau\alpha)_{en}$ à condition qu'un autre facteur appelé facteur d'angle d'incidence, K_θ , soit introduit dans l'équation (14).

$$\eta = F' K_\theta (\tau\alpha)_{en} - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (14)$$

D'où

$$(ta)_e = K_\theta (ta)_{en} \quad (15)$$

La Figure 5 montre la variation de K_θ avec l'angle d'incidence pour deux capteurs solaires.

Dans le cas des capteurs (par exemple capteurs à tubes sous vide) pour lesquels les effets de l'angle d'incidence ne sont pas symétriques à la direction de l'incidence, il est nécessaire de mesurer les effets de l'angle d'incidence à partir de plusieurs directions afin de caractériser entièrement le facteur d'angle d'incidence.

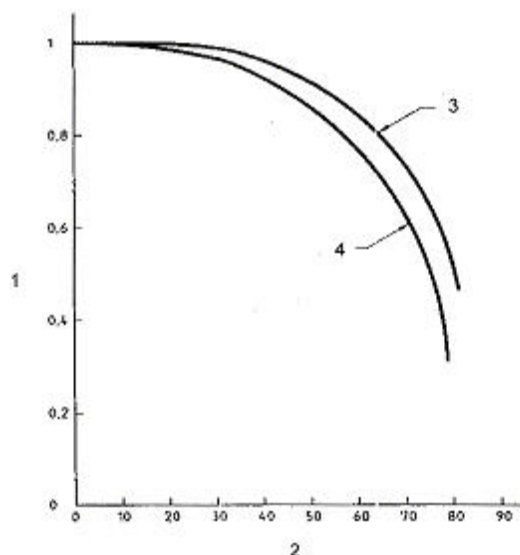
Le facteur d'angle d'incidence complexe peut s'estimer en le pesant comme produit des facteurs d'angle d'incidence distincts, $K_{\theta L}$ et $K_{\theta T}$, pour deux plans symétriques perpendiculaires (équation 15.1).

$$K_\theta = K_{\theta L} K_{\theta T} \quad (15.1)$$

Le plan longitudinal (indice L) est parallèle à l'axe optique du capteur, et le plan transversal (indice T) est perpendiculaire à l'axe optique. Les angles θ_L et θ_T sont les projections de l'angle d'incidence θ sur les plans respectivement longitudinal et transversal.

Pour la corrélation entre θ , θ_L et θ_T , l'équation suivante s'applique :

$$\tan^2\theta = \tan^2\theta_L + \tan^2\theta_T$$



Légende

- 1 Facteur d'angle d'incidence K_θ
- 2 Angle d'incidence (degrés)
- 3 Couverture avec vitrage simple K_θ
- 4 Couverture avec vitrage double

Figure 5 — Facteurs types de l'angle d'incidence K_θ

L'importance du facteur d'angle d'incidence pour les modes opératoires d'essai mentionnés dans la présente norme réside dans le fait que les valeurs de rendement thermique du capteur sont déterminées dans des conditions d'incidence normales ou quasi-normales. Par conséquent, l'ordonnée à l'origine $y(\eta)$ de la courbe de rendement est égale à $F(\tau\alpha)_{\text{en}}$, pour un capteur plan. Une mesure séparée doit être effectuée afin de déterminer la valeur de K_θ , de manière à prévoir les performances du capteur dans de nombreux régimes de conditions et/ou à des moments différents de la journée, à l'aide de l'équation (14).

6.1.7.2 Simulateur d'irradiance solaire pour la mesure des facteurs de l'angle d'incidence

Seuls des simulateurs d'irradiance solaire ayant la collimation spécifiée suivante doivent être utilisés pour la mesure du facteur d'angle d'incidence.

La collimation doit être telle qu'au moins 90 % d'irradiance solaire simulée en tout point du capteur soumis à l'essai proviennent d'une région du simulateur d'irradiance solaire contenue dans un angle sous-tendu inférieur ou égal à 20° au niveau du point d'observation indiqué.

6.1.7.3 Modes opératoires

6.1.7.3.1 Généralités

L'essai du capteur solaire visant à déterminer le facteur de son angle d'incidence peut être réalisé par l'une des deux méthodes suivantes. Toutefois, au cours de chaque période d'essai, l'orientation du capteur doit être telle que ce dernier est maintenu à un angle de $\pm 2,5$ par rapport à l'angle d'incidence pour lequel l'essai est effectué.

Lors de la mesure du facteur d'angle d'incidence dans un plan d'un capteur asymétrique optique, il convient de maintenir l'angle d'incidence dans l'autre plan à une valeur dans laquelle le facteur d'angle d'incidence ne diffère pas de plus de 2 % de celui à l'incidence normale.

NOTE 1 Il convient de prendre des précautions pour que la mesure du facteur de l'angle d'incidence ne soit pas modifiée par des angles d'inclinaison inappropriés.

NOTE 2 Pour les angles d'incidence de 50°, un écart de ± 1 mène à une erreur de 2 % lors de la mesure d'irradiance solaire.

6.1.7.3.2 Méthode 1

La présente méthode s'applique aux essais à l'intérieur utilisant un simulateur solaire présentant les caractéristiques spécifiées en 6.1.5.2 ou aux essais à l'extérieur utilisant un banc d'essai mobile (monture hauteur-azimut du capteur) de sorte que l'orientation du capteur puisse être réglée de manière arbitraire eu égard à l'orientation d'irradiance solaire incident.

Le capteur doit être orienté de sorte que l'angle d'incidence d'essai entre lui-même et l'irradiance solaire direct dans les conditions d'essai soit de 50°. Cet angle est suffisant pour les capteurs plans classiques. Des angles de 20°, 40°, 60° et autres peuvent se révéler nécessaires pour certains capteurs ayant des caractéristiques de performances optiques inhabituelles, ou lorsque la simulation du système l'exige.

La température moyenne du fluide caloporteur doit être réglée le plus près possible (de préférence à ± 1 K) de la température de l'air ambiant. La valeur de rendement doit être déterminée conformément au 6.1.4.4.

6.1.7.3.3 Méthode 2

La présente méthode s'applique aux essais à l'extérieur utilisant un banc d'essai fixe sur lequel le réglage de l'orientation du capteur ne peut s'effectuer de manière arbitraire eu égard à l'orientation d'irradiance solaire incident (à l'exception des réglages d'inclinaison).

La température moyenne du fluide caloporteur doit être réglée, si possible, à ± 1 K près de la température de l'air ambiant. La valeur de rendement doit être déterminée de sorte qu'une valeur de rendement puisse être relevée avant le midi solaire et qu'une seconde valeur puisse être relevée après le midi solaire. L'angle d'incidence moyen entre le capteur et le faisceau solaire pour les deux points de données est identique. Le rendement du capteur pour l'angle d'incidence spécifique doit être considéré comme égal à la moyenne des deux valeurs.

La valeur de rendement doit être déterminée en parfaite conformité avec la méthode décrite en 6.1.4.4. Comme dans le cas de la Méthode 1, les données doivent être recueillies pour un angle d'incidence de 50°. Des angles de 20°, 40°, 60° et autres peuvent se révéler nécessaires pour certains capteurs ayant des caractéristiques de performances optiques inhabituelles, ou lorsque la simulation du système l'exige.

NOTE La conformité du caractère applicable de la présente méthode à des géométries particulières, telles que des capteurs à tubes, requiert une plus grande expérience.

6.1.7.4 Calcul du facteur d'angle d'incidence du capteur

Les valeurs relatives au rendement thermique du capteur doivent être déterminées pour chaque valeur de l'angle d'incidence, indépendamment de la méthode expérimentale, décrite en 6.1.7.3, effectivement utilisée. Les capteurs plans classiques requièrent un angle d'incidence unique de 50°. (À noter qu'un étalon nominal faisant appel à la présente méthode d'essai peut requérir la mesure de K_θ pour un ensemble différent d'angles d'incidence). La température moyenne du fluide est maintenue très proche de la température de l'air ambiant de sorte que :

$(t_m - t_a) \approx 0$. La relation entre K_θ et le rendement est la suivante :

$$K_\theta = \frac{\eta}{F'(\alpha)_{en}} \quad (16)$$

Dans la mesure où $(\alpha)_{en}$ a déjà été défini comme étant l'ordonnée à l'origine de la courbe de rendement, les valeurs de K_θ peuvent être calculées pour les différents angles d'incidence (voir en 6.1.7.3). Si la température moyenne du fluide ne peut être réglée au même niveau que la température de l'air ambiant à ± 1 K près, K_θ

$$= \frac{\eta + a_1 \frac{t_m - t_a}{G} + a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2}{F'(\alpha)_{en}} \quad (17)$$

Etant donné qu'elle permet d'obtenir des résultats plus exactes, il convient généralement d'utiliser l'équation 17.

Chaque point de données peut également être porté sur le même graphique que la courbe de rendement déterminée conformément au 6.1.4 ou 6.1.5, et une courbe peut être tracée entre chaque point, parallèlement à la courbe de rendement et coupant l'axe des ordonnées (axe y). Les valeurs de l'ordonnée à l'origine sont les valeurs de rendement qui auraient été obtenues si la température moyenne du fluide avait été réglée au même niveau que la température de l'air ambiant. Ces valeurs peuvent par conséquent être utilisées avec l'équation (17) afin de calculer les différentes valeurs de K_θ .

6.1.8 Détermination de la perte de charge dans un capteur

Si la détermination de la chute de pression dans un capteur est nécessaire, il convient que ceci soit effectué selon l'Annexe L.

6.2 Capteurs solaires sans vitrage dans des conditions d'état stationnaire (y compris la perte de charge)

6.2.1 Montage et emplacement des capteurs

6.2.1.1 Généralités

La spécification donnée en 6.1.1.1 s'applique.

6.2.1.2 Montage

Le capteur doit être monté de la manière spécifiée par le fabricant.

Le cadre de montage du capteur ne doit en aucun cas obstruer l'entrée du capteur et ne doit pas affecter de manière significative l'isolation arrière ou latérale, sauf spécification contraire (par exemple lorsque le capteur fait partie intégrante d'une toiture intégrée).

Les capteurs conçus pour être montés directement sur des matériaux de couverture standard peuvent être installés sur une section de toiture factice. Dans le cas de capteurs intégrés à une toiture, il convient de fabriquer pour l'essai un modèle consistant en un capteur à échelle réduite placé sur une toiture artificielle.

En l'absence de spécification de montage, le capteur doit être installé sur un support isolé dont le quotient conductivité thermique des matériaux/épaisseur est de $(1 \pm 0,3) \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, et la surface supérieure est recouverte d'une couche de peinture-blanc mat et est aérée au niveau de sa partie arrière.

NOTE Une mousse de polystyrène de 30 mm d'épaisseur est un exemple de matériau approprié au support isolé.

Le capteur doit être monté de sorte que son bord inférieur se situe au moins à 0,5 m au-dessus de la surface du sol. Les ensembles de capteurs constitués d'éléments de tubes ou de bandes doivent être montés avec un espacement de 10 mm entre les tubes (ou les bandes) ou avec un espacement équivalent à un diamètre (largeur de bande), selon la plus petite des deux valeurs. Lorsque les instructions d'installation du fabricant spécifient un espacement différent entre les tubes ou les bandes, l'espacement recommandé doit alors être utilisé. Lorsque le capteur est livré avec des entretoises d'assemblage ou tout autre dispositif imposant un espacement des tubes (ou bandes), le capteur doit alors être soumis à l'essai tel que livré et sa géométrie doit être consignée dans le rapport d'essai.

Toute circulation de courants d'air chaud au niveau du capteur, tels que les courants ascendants le long des parois d'un bâtiment, doit être interdite. Lorsque les capteurs sont soumis à l'essai sur le toit d'un bâtiment, ils doivent être situés au moins à 2 m de l'extrémité du toit.

Les performances de certains types de capteurs solaires sans vitrage sont fonction de la taille du module. Lorsque le capteur est fourni sous forme d'unités fixes d'une superficie supérieure à 1 m^2 , un nombre suffisant de modules doit alors être regroupé eux afin d'obtenir une entrée d'essai minimale de 3 m^2 . Lorsque le capteur est fourni sous forme de bandes, la superficie minimale du module de construction doit être de 3 m^2 (superficie hors-tout).

6.2.1.3 Inclinaison

Le capteur doit être soumis à l'essai à des inclinaisons telles que l'angle d'incidence d'irradiance solaire directe θ soit inférieur à 30° ou que le facteur d'angle d'incidence varie de moins de $\pm 2 \%$ par rapport à l'incidence normale. Afin de déterminer une inclinaison précise et avant de commencer les essais, il peut se révéler nécessaire de vérifier le facteur d'angle d'incidence aux deux angles donnés.

NOTE Pour la plupart des capteurs sans vitrage, l'influence de l'inclinaison et de l'angle d'incidence d'irradiance sur le rendement du capteur est faible et les capteurs sans vitrage sont généralement installés à des inclinaisons faibles. Il convient toutefois dans ce cas d'éviter toute poche d'air.

6.2.1.4 Orientation des capteurs à l'extérieur

L'orientation des capteurs doit être conforme au 6.1.1.4.

6.2.1.5 Protection contre l'irradiance solaire directe

Le capteur doit être protégé contre l'irradiance solaire directe conformément au 6.1.1.5.

6.2.1.6 Irradiance solaire diffus et réfléchi

Le capteur doit diffuser et réfléchir l'irradiance solaire conformément au 6.1.1.6.

6.2.1.7 Irradiance thermique

Les performances de certains capteurs sont particulièrement sensibles aux niveaux d'irradiance thermique. La température des surfaces adjacentes au capteur doit être la plus proche possible de celle de l'air ambiant afin de réduire au minimum l'influence d'irradiance thermique. Par exemple, le capteur ne doit avoir dans son champ de vision, aucune cheminée, aucune tour de refroidissement, aucun conduit d'évacuation de gaz chauds. Dans le cadre des essais à l'intérieur et en simulateur, le capteur doit être protégé des surfaces chaudes, telles que les radiateurs, les conduits et appareillages de conditionnement d'air, et des surfaces froides telles que les fenêtres et les parois extérieures. La protection de la partie avant et de la partie arrière du capteur est particulièrement importante.

La principale différence entre les essais à l'intérieur et les essais à l'extérieur des capteurs sans vitrage n'est autre que l'irradiance thermique de grandes longueurs d'onde. L'irradiance de grandes longueurs d'onde relatif dans un simulateur ne doit pas être supérieur à $\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$ (généralement $\sim 100 \text{ Wm}^{-2}$ pour des conditions d'essai à l'extérieur).

6.2.1.8 Vitesse de l'air

Les performances des capteurs sans vitrage sont sensibles à la vitesse de l'air adjacente au capteur.

Afin d'assurer une reproductibilité maximale des résultats, les capteurs sans vitrage doivent être montés de sorte que l'air puisse circuler librement au niveau du côté avant du capteur ainsi qu'au niveau de sa partie arrière et de ses côtés exposés. La partie arrière des capteurs conçus pour être intégrés à une toiture peut être protégée du vent ; ceci doit toutefois être consigné avec les résultats d'essai.

La vitesse moyenne de l'air environnant à une distance de 100 mm au-dessus de l'ouverture du capteur et parallèlement celle-ci doit couvrir la plage 0 ms^{-1} à $3,5 \text{ ms}^{-1}$ compte tenu de la tolérance spécifiée dans le Tableau 7. Lorsque ces conditions ne peuvent être obtenues dans des conditions naturelles, un ventilateur doit alors être utilisé. Dans ce cas, le niveau de turbulence doit être compris dans une plage de 20 % à 40 % afin de simuler les conditions de vent naturel. Le niveau de turbulence doit être vérifié au niveau du bord d'attaque du capteur, à une distance de 100 mm au-dessus de la surface du capteur. Le niveau de turbulence doit être surveillé à l'aide d'un anémomètre à fil chaud linéarisé dont la réponse en fréquence minimale est de 100 Hz. Lorsque l'absorbeur n'est pas monté directement sur un toit ou sur une tôle de matériau d'appui, la vitesse de l'air environnant doit être régulée et contrôlée au niveau des parties avant et arrière du capteur.

6.2.2 Instrumentation

6.2.2.1 Mesurage d'irradiance solaire

La spécification donnée en 6.1.2.1 s'applique.

6.2.2.2 Mesurage d'irradiance thermique

6.2.2.2.1 Mesurage de l'irradiance de grandes longueurs d'onde

Un pyrgéomètre monté dans le plan du capteur doit être utilisé pour mesurer l'irradiance globale hémisphérique de grandes longueurs d'onde.

6.2.2.2.2 Mesures à prendre par rapport aux effets du gradient de température

Le pyrgéomètre utilisé lors des essais doit être placé sur le même plan que l'absorbeur du capteur et être laissé au repos pour équilibrage pendant au moins 30 min avant le commencement des mesurages.

6.2.2.2.3 Mesures à prendre contre les effets de l'humidité

Le pyrgéomètre doit comporter un dispositif prévenant toute accumulation d'humidité susceptible de condensation au niveau des surfaces de l'instrument et pouvant affecter sa lecture. L'utilisation d'un instrument muni d'un dessiccateur contrôlable est requise. L'état du dessiccateur doit faire l'objet d'un examen visuel avant et après chaque série quotidienne de mesurages.

6.2.2.2.4 Mesures à prendre contre les effets d'échauffement des courtes longueurs d'onde

L'influence des effets d'échauffement solaire des courtes longueurs d'onde est généralement réduite au minimum.

6.2.2.3 Mesurages de la température

Les températures doivent être mesurées conformément au 6.1.2.3.

6.2.2.4 Mesurage du débit du fluide du capteur

Les débits de fluide doivent être mesurés conformément au 6.1.2.4.

6.2.2.5 Mesurage de la vitesse de l'air

6.2.2.5.1 Généralités

La vitesse de l'air doit être mesurée conformément au 6.1.2.5.1.

6.2.2.5.2 Exactitude requise de la vitesse de l'air

La vitesse de l'air environnant au niveau de la surface avant du capteur doit être mesurée avec une incertitude type de $0,25 \text{ ms}^{-1}$. Dans les conditions d'essai à l'extérieur, la vitesse de l'air environnant est rarement constante, ce qui entraîne bien souvent des rafales de vent. La mesure d'une vitesse moyenne de l'air doit par conséquent être effectuée au cours de la période d'essai. Ceci peut être obtenu en faisant la moyenne arithmétique des valeurs échantillonnées ou par une intégration dans le temps tout au long de la période d'essai.

NOTE Il convient de prendre en considération le fait que les anémomètres ont des limites de départ comprises entre $0,5 \text{ ms}^{-1}$ et 1 ms^{-1} . Aussi des erreurs importantes peuvent-elles se produire pour des vitesses de l'air inférieures à 1 ms^{-1} .

6.2.2.5.3 Montage des sondes

La vitesse du vent doit être mesurée pendant le réglage du ventilateur, au moyen d'un anémomètre manuel à une hauteur comprise entre 10 mm et 50 mm au-dessus du plan d'ouverture du capteur. Un anémomètre fixe doit être placé à une extrémité du capteur afin de surveiller le fonctionnement du ventilateur. Cet anémomètre doit être monté sur un panneau de manière à présenter une surface continue orientée vers le ventilateur du bord du capteur jusqu'à 0,3 m en arrière de l'anémomètre.

NOTE La valeur enregistrée de la vitesse du vent n'est pas la vitesse de l'air circulant au-dessus de l'entrée du capteur.

Une série de mesurages doit être effectuée en neuf positions également réparties au niveau de la superficie du capteur. Une valeur moyenne doit ensuite être déterminée. Dans le cas d'un capteur vierge de toute isolation arrière ou non monté sur une surface de toit factice, la vitesse de l'air doit être mesurée au niveau des surfaces avant et arrière. La vitesse moyenne de l'air au niveau des surfaces avant et arrière doit être utilisée pour la corrélation des données.

Au cours de l'essai, la vitesse de l'air doit être contrôlée en un point approprié étalonné par rapport à la vitesse moyenne de l'air au niveau du capteur. L'anémomètre ne doit projeter aucune ombre sur le capteur au cours des essais.

6.2.2.6 Mesurages de la pression

La pression d'entrée et la perte de charge du capteur doivent être mesurées à l'aide d'un dispositif ayant une erreur de 5 % de la valeur mesurée ou de ± 10 Pa. Lorsque le capteur est fourni sous forme de modules, la perte de charge doit être spécifiée par module. Pour les absorbeurs à bande, la pression doit être spécifiée par mètre de bande.

6.2.2.7 Temps écoulé

Le temps écoulé doit être mesuré conformément au 6.1.2.6.

6.2.2.8 Instrumentation/enregistreurs de données

L'instrumentation et les enregistreurs de données doivent être conformes au 6.1.2.7.

6.2.2.9 Superficie du capteur

La superficie du capteur doit être conforme au 6.1.2.8.

6.2.2.10 Contenance en fluide du capteur

La contenance en fluide du capteur doit être conforme au 6.1.2.9.

6.2.3 Installation d'essai

L'installation d'essai doit être conforme au 6.1.3.

6.2.4 Essai de rendement à l'état stationnaire à l'extérieur

6.2.4.1 Installation d'essai

L'installation d'essai doit être conforme au 6.1.4.1.

6.2.4.2 Conditionnement préalable du capteur

Le conditionnement préalable du capteur doit être conforme au 6.1.4.2.

6.2.4.3 Conditions d'essai

Au moment de l'essai, l'irradiance solaire nette au niveau du plan d'ouverture du capteur doit être supérieur à 650 Wm^{-2} .

NOTE Lorsque le fabricant souhaite limiter l'irradiance maximale en fonctionnement, cette valeur ne pouvant toutefois pas descendre en dessous de 800 Wm^{-2} , il peut le demander lors de l'essai. Il convient d'indiquer clairement cette valeur maximale dans le rapport d'essai.

L'angle d'incidence d'irradiance solaire directe au niveau de l'entrée du capteur doit se situer dans la plage de variation maximale de ± 2 % du facteur d'angle d'incidence par rapport à sa valeur à une incidence normale. Le facteur d'un angle d'incidence doit être calculé de manière à pouvoir caractériser les performances du capteur à d'autres angles.

La valeur moyenne de la vitesse de l'air environnant, compte tenu des variations dans l'espace au niveau du capteur et des variations dans le temps au cours de la période d'essai, doit se situer dans la plage définie en 6.1.5.5.

Sauf spécification contraire, le débit du fluide doit être réglé approximativement à 0,04 kg/s par mètre carré de superficie hors-tout du capteur. Le débit doit demeurer stable à $\pm 1 \%$ de la valeur de consigne au cours de chaque période d'essai et ne doit pas varier de plus de $\pm 10 \%$ de la valeur de consigne d'une période d'essai à l'autre.

Le respect de la spécification du fabricant permet d'adapter les essais à un débit inférieur.

Avec certains capteurs, le débit de fluide recommandé peut être proche de la transition entre le régime laminaire et le régime turbulent. Ceci peut entraîner une instabilité du coefficient de transfert thermique interne et donc des variations au niveau des mesures du rendement du capteur. Il peut se révéler nécessaire d'utiliser un débit plus élevé pour assurer la caractérisation reproductible d'un capteur de ce type, mais ceci doit être clairement indiqué avec les résultats d'essai.

Les différences de température de fluide inférieures à 1 K ne doivent pas être incluses dans les résultats d'essai en raison des problèmes liés à l'exactitude des instruments.

6.2.4.4 Mode opératoire

Soumettre le capteur à l'essai dans sa plage de températures de service dans des conditions de ciel sans nuage afin de déterminer sa caractéristique de rendement. Les points de données conformes aux exigences indiquées ci-dessous doivent être obtenus selon le Tableau 7.

Sélectionner une température d'entrée de sorte que la température moyenne du fluide dans le capteur soit égale à ± 3 K près à la température de l'air ambiant, afin de déterminer avec exactitude η_0 .

NOTE 1 Compte tenu de la condition selon laquelle la température d'entrée du fluide doit être plus élevée que la température du point de rosée de l'air environnant, il convient de sélectionner la température d'entrée de sorte que $T_m = T_a \pm 3$ K s'applique. Il est toutefois recommandé que la température d'entrée ne soit en aucun cas inférieure à la température du point de rosée.

Tableau 7 — Plage des conditions d'essai des performances thermiques

Point d'essai	Irradiance net Wm^{-2}	T_m (température moyenne) K	Vitesse de l'air parallèlement au capteur ms^{-1}
1	> 650	$T_m = T_a \pm 3$ K	< 1
2	> 650	$T_m = T_a \pm 3$ K	$1,5 \pm 0,5$
3	> 650	$T_m = T_a \pm 3$ K	$3 \pm 0,5$
4	> 650	$T_m = T_a + 0,5 (\Delta t_{max}) \pm 3$ K	< 1
5	> 650	$T_m = T_a + 0,5 (\Delta t_{max}) \pm 3$ K	$1,5 \pm 0,5$
6	> 650	$T_m = T_a + 0,5 (\Delta t_{max}) \pm 3$ K	$3 \pm 0,5$
7	> 650	$T_m = T_a + \Delta t_{max} \pm 3$ K	< 1
8	> 650	$T_m = T_a + \Delta t_{max} \pm 3$ K	$1,5 \pm 0,5$
9	> 650	$T_m = T_a + \Delta t_{max} \pm 3$ K	$3 \pm 0,5$

$\Delta t_{\max}$ est la différence de température maximale prévue entre la température moyenne de l'absorbeur et la température ambiante en fonctionnement réel.

NOTE 2 Pour les applications types en piscine, cette valeur $\Delta t_{\max}$ est généralement limitée à environ 10 K ou moins.

Au moins deux points de données indépendants doivent être obtenus pour chaque température d'entrée du fluide. Lorsque les conditions d'essai l'autorisent, relever un nombre égal de points de données avant et après le midi solaire pour chaque température d'entrée du fluide. Cette dernière condition n'est pas requise lorsque le déplacement volontaire des capteurs suit la trajectoire azimutale du Soleil grâce à un système suiveur manuel ou automatique.

Lors d'un essai, effectuer les mesurages de la manière spécifiée en 6.2.4.5. Ces mesurages peuvent alors être utilisés pour identifier les périodes d'essai à partir desquelles des points de données satisfaisants peuvent être calculés.

6.2.4.5 Mesurages

Les mesurages doivent concerner les données suivantes :

- la superficie hors-tout du capteur A_G et l'aire de l'absorbeur A_A , dans les conditions de pression de service ;
- la contenance en fluide ;
- l'irradiance solaire globale au niveau de la superficie du capteur ;
- l'irradiance solaire diffuse au niveau de la superficie du capteur (uniquement à l'extérieur) ;
- l'irradiance thermique de grandes longueurs d'onde dans le plan du capteur (ou la température du point de rosée t_{dp}) ;
- la vitesse de l'air environnant ;
- la température de l'air environnant ;
- la température du fluide caloporteur à l'entrée du capteur ;
- la température du fluide caloporteur à la sortie du capteur ;
- le débit du fluide caloporteur.

6.2.4.6 Durée de l'essai (état stationnaire)

La spécification indiquée en 6.1.4.6 s'applique compte tenu du Tableau 8.

Tableau 8 — Écart autorisé des paramètres mesurés au cours d'une période de mesurage

Paramètre	Symbole	Écart par rapport à la valeur moyenne
Irradiance solaire totale de courtes longueurs d'onde	G	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Irradiance thermique de longues longueurs d'onde	E_L	$\pm 20 \text{ Wm}^{-2}$
Température de l'air environnant	t_a	$\pm 1 \text{ K}$
Débit masse du fluide	$\dot{m}$	$\pm 1 \%$
Température d'entrée du fluide du capteur	t_{in}	$\pm 0,1 \text{ K}$
Vitesse de l'air environnant	u	$\pm 0,5 \text{ ms}^{-1}$

6.2.4.7 Présentation des résultats

La spécification indiquée en 6.1.4.7 s'applique.

6.2.4.8 Calcul du rendement du capteur**6.2.4.8.1 Généralités**

La spécification indiquée en 6.1.4.8.1 s'applique, conjointement aux dispositions supplémentaires suivantes :

Les résultats d'essai doivent être utilisés pour calculer le rendement g à partir de l'équation suivante :

$$g = \frac{\dot{Q}}{AG''} \quad (18)$$

G'' est l'irradiance nette déterminée par l'équation :

$$G'' = G + (\varepsilon/\alpha)(E_L - \sigma T_{a4}) \quad (19)$$

la valeur (ε/α) doit être considérée égale à 0,85 à moins que le fabricant ne puisse fournir une valeur mesurée.

E_L est l'irradiance de grandes longueurs d'onde mesurée dans le plan du capteur.

$$\dot{Q} \text{ est la puissance de sortie utile, calculée à partir de l'équation suivante : } \dot{Q} = \dot{m} c_f (t_e - t_{in}) \quad (20)$$

Une valeur de c_f appropriée à la température moyenne du fluide doit être utilisée.

Lorsque le débit masse du fluide est obtenu à partir des mesures du débit volumique, la masse volumique doit alors être déterminée pour le fluide à la température du débitmètre.

La corrélation des données d'essai doit s'effectuer par un ajustement de courbe par la méthode des moindres carrés afin d'obtenir une fonction de rendement de la forme

$$\eta = \eta_0 (1 - b_u u) - (b_1 + b_2 u) \frac{(t_m - t_a)}{G''} \quad (21)$$

η_0 , b_u , b_1 et b_2 étant les coefficients que doit permettre de déterminer l'ajustement de courbe.

En l'absence d'instruments de mesurage de l'irradiance de grandes longueurs d'onde E_L , le modèle à grande longueur d'onde suivant, dans des conditions de ciel sans nuage, peut être utilisé pour déterminer l'existence du ciel ε_s , à partir de la température du point de rosée mesurée t_{dp} .

$$\varepsilon_s = 0,711 + 0,56 \frac{t_{dp}}{100} + 0,73 \left(\frac{t_{dp}}{100} \right)^2 \quad (22)$$

où la température du point de rosée t_{dp} doit être mesurée avec une incertitude type de 0,5 K.

L'irradiance de grandes longueurs d'onde est calculée à l'aide de l'expression :

$$E_s = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \quad (23)$$

Une inclinaison du capteur entraîne un échange d'irradiance thermique avec le ciel et le sol.

L'irradiance de grandes longueurs d'onde relative E_β sur un capteur incliné à un angle β est donnée par l'équation :

$$E_\beta = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \frac{1 + \cos \beta}{2} + \varepsilon_g \sigma T_a^4 \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (24)$$

La température du sol n'a qu'une faible influence sur l'irradiance de grandes longueurs d'ondes sur un capteur incliné à un angle inférieur à 45° dans la mesure où le facteur de forme entre un capteur et le sol n'est que de 0,15 pour $\beta = 45^\circ$.

Dans ce cas, l'équation (24) peut s'écrire de la manière suivante :

$$E_\beta = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (25)$$

Ainsi, dans l'équation (19), l'irradiance de grandes longueurs d'onde E_L dans le plan du capteur est égale à E_β lorsque le capteur est situé à l'extérieur.

NOTE 1 Les valeurs E_L positives sont une irradiance orientée vers le bas sur une surface avec une température de 0 K.

NOTE 2 Pour le calcul de E_s , il convient d'utiliser l'équation 23.

6.2.4.8.2 Énergie solaire recueillie par le capteur

AG'' est l'énergie solaire recueillie, et dans ce cas :

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{AG''} \quad (26)$$

6.2.4.8.3 Différence de température réduite

La spécification indiquée en 6.1.4.8.3 s'applique, en substituant G'' à G .

6.2.4.8.4 Représentation graphique du rendement instantané

6.2.4.8.4.1 Généralités

La spécification indiquée en 6.1.4.8.4.1 s'applique en substituant G'' à G .

6.2.4.8.4.2 Rendement instantané

La spécification indiquée en 6.1.4.8.4.2 s'applique en substituant G'' à G .

6.2.4.8.5 Présentation graphique de la puissance du capteur

La spécification indiquée en 6.1.4.8.5 s'applique en substituant G'' à G .

6.2.5 Essai de rendement à l'état stationnaire à l'aide d'un simulateur d'irradiance solaire

6.2.5.1 Généralités

La spécification donnée en 6.1.5.1 s'applique.

6.2.5.2 Simulateur d'irradiance solaire pour les essais de rendement à l'état stationnaire

La spécification donnée en 6.1.5.2 s'applique.

6.2.5.3 Installation d'essai

La spécification donnée en 6.1.5.3 s'applique.

6.2.5.4 Conditionnement préalable du capteur

La spécification donnée en 6.1.5.4 s'applique.

6.2.5.5 Mode opératoire

Soumettre le capteur à l'essai dans sa plage de températures de service afin de déterminer sa caractéristique de rendement. Afin de déterminer avec exactitude η_0 , sélectionner une température d'entrée de sorte que la température moyenne du fluide dans le capteur soit égale à la température de l'air ambiant à ± 3 K près.

La plage des conditions d'essai des performances thermiques est spécifiée dans le Tableau 7.

Au moins deux points de données indépendants doivent être obtenus pour chaque température d'entrée du fluide.

Lors d'un essai, effectuer les mesurages de la manière spécifiée en 6.2.4.5.

6.2.5.6 Mesurages lors d'essais dans des simulateurs d'irradiance solaire

Les mesurages doivent être conformes à 6.1.5.6.

6.2.5.7 Période d'essai

La période d'essai doit être conforme à 6.1.5.7.

6.2.5.8 Conditions d'essai

Les conditions d'essai doivent être conformes à 6.1.5.8.

6.2.5.9 Calcul et présentation des résultats

Les résultats doivent être conformes à 6.1.5.9.

6.2.6 Détermination de la capacité thermique effective et de la constante de temps d'un capteur

6.2.6.1 Généralités

La capacité thermique effective et la constante de temps d'un capteur sont des paramètres importants qui déterminent les performances transitoires de ce dernier.

Un capteur peut généralement être considéré comme une combinaison de masses, chaque masse ayant une température différente. Lors du fonctionnement d'un capteur, chaque composant de ce dernier répond de manière différente à une modification des conditions de fonctionnement ; il est donc utile de prendre en considération une capacité thermique effective pour l'ensemble du capteur.

La capacité thermique effective dépend malheureusement des conditions de fonctionnement et n'est pas un paramètre de capteur à valeur unique. Plusieurs méthodes d'essai différentes ont été utilisées pour mesurer la capacité thermique effective des capteurs et il apparaît que des résultats similaires peuvent être obtenus en employant des méthodes relativement différentes.

Tout comme il n'existe pas de valeur unique de la capacité thermique effective, il n'existe pas non plus de constante de temps globale unique pour un capteur donné. Pour la plupart des capteurs, l'influence dominante sur le temps de réponse n'est autre que le débit de fluide. D'autres composants du capteur ont toutefois des temps de réponse différents, d'où une constante de temps globale effective qui dépend des conditions de fonctionnement.

6.2.6.2 Détermination de la capacité thermique

La capacité thermique effective du capteur C (exprimée en joules par kelvin) doit être calculée comme la somme, pour chaque élément constitutif du capteur (absorbeur, fluide d'évacuation de la chaleur), du produit de sa masse m_i de capteur (exprimée en kilogrammes) par sa capacité thermique massique c_i (exprimée en joules par kilogramme kelvin).

$$C = \sum_i m_i c_i \quad (27)$$

La capacité thermique effective peut également être mesurée en appliquant les procédés décrits à l'Annexe G.

6.2.6.3 Mode opératoire applicable à la constante de temps du capteur

Le mode opératoire doit être conforme à 6.1.6.3.

6.2.6.4 Calcul de la constante de temps du capteur

La constante de temps doit être calculée conformément à 6.1.6.4.

6.2.7 Facteur d'angle d'incidence (facultatif)

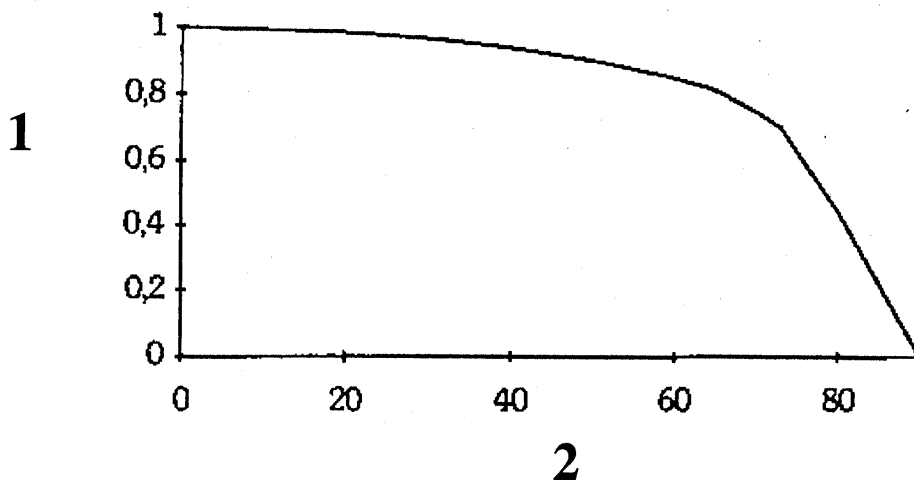
6.2.7.1 Généralités

Dans le cas d'une incidence de faisceau solaire non quasi-normale, le rendement η_0 de l'équation (21) peut être remplacé par $K_\theta \eta_0$, où K_θ est le facteur d'angle d'incidence.

$$\eta = \eta_0 (1 - b_u u) - (b_1 + b_2 u) \frac{t_m - t_a}{G'} \quad (28)$$

La Figure 6 montre la variation type de K_θ avec l'angle d'incidence pour un capteur solaire sans vitrage.

Pour ces capteurs pour lesquels les effets de l'angle d'incidence ne sont pas symétriques au sens de l'incidence, la spécification donnée en 6.1.7.1 s'applique



Légende

- 1 Angle d'incidence K_θ
- 2 Facteur d'angle d'incidence (degrés)

Figure 6 — Facteur type de l'angle d'incidence

L'importance du facteur d'angle d'incidence dans les modes opératoires d'essai mentionnés dans le présent paragraphe réside dans le fait que les valeurs de rendement thermique du capteur sont déterminées dans des conditions d'incidence normales ou quasi-normales. Par conséquent, l'ordonnée à l'origine η de la courbe de rendement est égale à η_0 .

Une mesure séparée doit être effectuée afin de déterminer la valeur de K_θ , de manière à prévoir les performances du capteur sur une large plage de conditions et/ou de moments différents de la journée, à l'aide de l'équation (28).

6.2.7.2 Simulateur d'irradiance solaire pour le mesurage des facteurs de l'angle d'incidence

La spécification donnée en 6.1.7.2 s'applique.

6.2.7.3 Modes opératoires

La spécification donnée en 6.1.7.3 s'applique.

6.2.7.4 Calcul du facteur d'angle d'incidence du capteur

Les valeurs relatives au rendement thermique du capteur doivent être déterminées pour chaque valeur de l'angle d'incidence, indépendamment de la méthode expérimentale décrite en 6.2.7.3, effectivement utilisée.

Les capteurs sans vitrage requièrent un angle d'incidence unique de 50°.

NOTE Une évaluation théorique faisant appel à la présente méthode d'essai peut requérir la mesure de K_θ pour un ensemble différent d'angles d'incidence.

La température moyenne du fluide doit être maintenue très proche de la température de l'air ambiant de sorte que $(t_m - t_a) \approx 0$.

La relation entre K_θ et le rendement est :

$$K_\theta = \frac{\eta(\theta)}{\eta_0} \quad (29)$$

Dans la mesure où η_0 a déjà été considéré comme étant l'ordonnée à l'origine de la courbe de rendement, des valeurs de K_θ peuvent être calculées pour les différents angles d'incidence (voir 6.2.7.3). Si la température moyenne du fluide ne peut être réglée au même niveau que la température de l'air ambiant, à ± 1 K près, la valeur de K_θ doit être calculée comme suit :

$$K_\theta = \frac{\eta(\theta) + (b_1 + b_2 u) \left(\frac{t_m - t_a}{G'} \right)}{\eta_0 (1 - b_u u)} \quad (30)$$

Etant donné l'exactitude des résultats, il convient généralement d'utiliser l'équation (17). Chaque point de données peut aussi être porté sur le même graphique que la courbe de rendement déterminée conformément à 6.2.4 ou 6.2.5, et une courbe tracée entre chaque point, parallèlement à la courbe de rendement et coupant l'axe des ordonnées (axe y).

Les valeurs de l'ordonnée y à l'origine sont les valeurs de rendement qui auraient été obtenues si la température moyenne du fluide avait été réglée au même niveau que la température de l'air ambiant. Ces valeurs peuvent par conséquent être utilisées avec l'équation (28) pour calculer les différentes valeurs de K_θ .

6.2.8 Détermination de la perte de charge dans un capteur

Si la détermination de la perte de charge dans un capteur est nécessaire, il convient que ceci soit effectué selon l'Annexe L.

6.3 Capteurs solaires vitrés et sans vitrage dans des conditions quasi-dynamiques

6.3.1 Montage et emplacement des capteurs

6.3.1.1 Généralités

Le montage et l'emplacement des capteurs doivent être conformes au 6.1.1.1.

6.3.1.2 Montage des capteurs

Les capteurs vitrés doivent être montés conformément à 6.1.1.2 et les capteurs sans vitrage conformément au 6.2.1.2.

6.3.1.3 Inclinaison

Les capteurs vitrés doivent être inclinés conformément à 6.1.1.3 et les capteurs sans vitrage conformément au 6.2.1.3.

6.3.1.4 Orientation des capteurs à l'extérieur

Le capteur doit être monté à l'extérieur en position fixe, face à l'équateur, à $\pm 5^\circ$ près.

NOTE Il convient que le calcul de l'angle d'incidence d'irradiance solaire sur l'ouverture du capteur tienne compte de l'écart d'azimut du capteur (ou du pyranomètre) par rapport à la position plein sud. Des écarts plus importants par rapport à la position plein sud peuvent être admis, mais ils entraînent une distribution angulaire asymétrique d'irradiance solaire directe, comme le montre la Figure 8 (voir 6.3.4.6.2). Ceci peut légèrement fausser l'angle d'incidence du capteur. Il convient que l'angle d'incidence réel soit calculé avec une incertitude type meilleure que $\pm 1^\circ$.

Dans le cas de capteurs à concentration, il convient d'utiliser dans toute la mesure du possible le dispositif suiveur du fabricant. Dans le cas de capteurs fixes anydoliques, tels que les capteurs CPC, il convient que ceux-ci soient montés de sorte que l'irradiance solaire directe s'inscrive dans la plage d'acceptation angulaire de conception.

6.3.1.5 Protection contre l'irradiance solaire directe

La protection doit être conforme à 6.1.1.5.

6.3.1.6 Irradiance solaire diffuse et réfléchie

La spécification donnée en 6.1.1.6 s'applique à l'exception du dernier alinéa relatif aux essais avec simulateur solaire.

6.3.1.7 Irradiance thermique

Les performances de certains capteurs sont particulièrement sensibles aux niveaux d'irradiance thermique. La température des surfaces adjacentes au capteur doit être la plus proche possible de celle de l'air ambiant afin de réduire au minimum l'influence d'irradiance thermique. Par exemple, l'ouverture extérieure du capteur ne doit englober aucune cheminée, aucune tour de refroidissement, ni aucun conduit d'évacuation de gaz chauds. La protection de la partie avant et de la partie arrière du capteur est particulièrement importante.

6.3.1.8 Vitesse de l'air environnant

Les capteurs vitrés doivent être conformes à 6.1.1.8 et les capteurs sans vitrage doivent être conformes à 6.2.1.8.

6.3.2 Instrumentation

6.3.2.1 Mesurage d'irradiance solaire

Les mesurages doivent être faits conformément à 6.1.2.1.

6.3.2.1.1 Pyranomètre

Les pyranomètres doivent être conformes à 6.1.2.1.1 à l'exception du paragraphe 6.1.2.1.1.5 qui n'est pas applicable.

6.3.2.2 Mesurage d'irradiance thermique

Les mesurages doivent être conformes à 6.2.2.2.

6.3.2.3 Mesurage de la température

Les mesurages doivent être conformes à 6.1.2.3.

6.3.2.4 Mesurage du débit du fluide du capteur

Les mesurages doivent être conformes à 6.1.2.4.

6.3.2.5 Mesurage de la vitesse de l'air

6.3.2.5.1 Généralités

Les mesurages doivent être conformes à 6.1.2.5.1.

6.3.2.5.2 Exactitude requise

La vitesse de l'air environnant au niveau de la surface avant du capteur doit être mesurée avec une incertitude type de $0,5 \text{ ms}^{-1}$ pour les capteurs vitrés et de $0,25 \text{ ms}^{-1}$ pour les capteurs sans vitrage. Dans des conditions d'essai à l'extérieur, la vitesse de l'air environnant est rarement constante, entraînant ainsi de fréquentes rafales de vent. Le mesurage d'une vitesse moyenne de l'air doit par conséquent être effectué au cours de la période d'essai. Ceci peut être obtenu par une intégration temporelle sur la période d'essai.

6.3.2.5.3 Montage des sondes

Lors de la réalisation d'essais à l'extérieur en des points où la vitesse moyenne du vent est inférieure à 2 ms^{-1} , un ventilateur (source de vent artificiel) doit être utilisé, et des mesures anémométriques doivent être prévues pour assurer un mesurage continu de la vitesse de l'air. Cet anémomètre doit être monté sur un panneau de manière à ce que le capteur présente une surface continue orientée vers le générateur de vent du bord jusqu'à $0,3 \text{ m}$ en arrière de l'anémomètre. L'uniformité de la vitesse de l'air dans le champ d'ouverture (entrée) du capteur doit être vérifiée étant donné que la vitesse de l'air peut varier d'une extrémité du capteur à l'autre. Une série de mesures de la vitesse de l'air doit par conséquent être effectuée à une distance de 100 mm en avant de l'entrée du capteur et en des positions également réparties sur la superficie du capteur. Une valeur moyenne doit ensuite être déterminée et associée à la mesure continue effectuée.

Dans les lieux venteux, la vitesse du vent doit être mesurée à proximité du capteur et à mi-hauteur de ce dernier. La sonde ne doit pas être protégée contre le vent et ne doit projeter aucune ombre sur le capteur au cours des périodes d'essai.

6.3.2.6 Mesurages de la pression

Les mesurages doivent être conformes au 6.2.2.6.

6.3.2.7 Temps écoulé

Le temps doit être mesuré conformément au 6.1.2.6.

6.3.2.8 Instrumentation/enregistreurs de données

Les instruments doivent être conformes au 6.1.2.7.

6.3.2.9 Superficie du capteur

La superficie du capteur doit être conforme au 6.1.2.8.

6.3.2.10 Contenance en fluide du capteur

La contenance en fluide doit être conforme au 6.1.2.9.

6.3.3 Installation d'essai

L'installation doit être soumise à l'essai conformément au 6.1.3.

6.3.4 Essai de rendement à l'extérieur

6.3.4.1 Installation d'essai

L'installation doit être soumise à l'essai conformément à 6.1.4.1.

6.3.4.2 Conditionnement préalable du capteur

Le conditionnement préalable du capteur doit être conforme à 6.1.4.2.

6.3.4.3 Conditions d'essai

Les exigences d'essai suivantes sont données eu égard à ce que l'on peut appeler une méthode d'essai quasi-dynamique (QDT). Afin de faciliter la compréhension et l'acceptation de ce type de méthode, la séquence d'essai recommandée et les autres exigences d'essai indiquées ici, sont étroitement liées aux exigences largement admises pour les essais des capteurs thermiques solaires à l'état stationnaire ou à l'état quasi-stationnaire, conformément à 6.1 et 6.2. La demande de données d'essai appropriées étant essentiellement identique pour les deux types de méthodes, la séquence d'essais recommandée permet également une identification des paramètres d'état stationnaire classiques, par obtention et découpage de séquences de données de mesurage correspondant aux exigences de l'état stationnaire. La combinaison de la méthode d'essai et de la série d'essais recommandée permet d'évaluer la capacité thermique effective et l'effet sur le rendement du capteur du facteur d'angle d'incidence, de la vitesse du vent ainsi que de la température du ciel. La phase d'identification des paramètres du capteur utilise le modèle de capteur de la puissance utile réelle.

La valeur moyenne de la vitesse de l'air environnant, compte tenu des variations dans l'espace au niveau du capteur et des variations dans le temps au cours de la période d'essai, doit être supérieure à 1 ms^{-1} et inférieure à 4 ms^{-1} .

L'utilisation de ventilateurs peut se révéler nécessaire pour obtenir des vitesses de vent suffisantes.

Sauf spécification contraire, le débit du fluide doit être réglé à approximativement $0,02 \text{ kgs}^{-1}$ par mètre carré de superficie de référence du capteur (A). Le débit doit demeurer stable à $\pm 1 \%$ près de la valeur de consigne au cours de chaque période d'essai et ne doit pas varier de plus de $\pm 10 \%$ de la valeur de consigne d'une période d'essai à l'autre. Le respect des spécifications du fabricant permet l'adaptation des essais effectués à d'autres débits.

Avec certains capteurs, le débit de fluide recommandé peut être proche de la région de transition entre le régime laminaire et le régime turbulent. Ceci peut entraîner une instabilité du coefficient de transfert thermique interne et donc des variations au niveau des mesures du rendement du capteur. L'utilisation d'un débit plus élevé peut se révéler nécessaire à la caractérisation reproductible d'un capteur de ce type, mais ceci doit être clairement indiqué avec les résultats d'essai.

Les différences de température du fluide inférieures à $1,0 \text{ K}$ ne doivent pas être intégrées aux résultats d'essai en raison des problèmes liés à l'exactitude des instruments.

NOTE Étant donné que la méthode quasi-dynamique est fondée sur la minimisation de l'erreur sur la puissance de sortie du capteur (et non sur le rendement comme stipulé dans les essais fixes décrits en 6.1 et 6.2), l'erreur relative des faibles différences de température du fluide ne pose désormais plus aucun problème. La restriction à une différence de température de $1,0 \text{ K}$ peut par conséquent être supprimée de la révision future éventuelle de la norme et un plus grand nombre de données obtenues chaque jour d'essai peut être utilisé.

6.3.4.4 Mode opératoire

Soumettre le capteur à l'essai dans sa plage de températures de service à l'extérieur afin de déterminer sa caractéristique de rendement. Des points de données satisfaisant aux exigences indiquées ci-dessous doivent être obtenus pour au moins quatre températures d'entrée de fluide réparties de manière égale sur la plage de températures de service du capteur.

Dans la mesure du possible, sélectionner une température d'entrée de sorte que la température moyenne du fluide dans le capteur soit égale, à $\pm 3 \text{ K}$ près à la température de l'air ambiant approximativement au niveau du midi solaire, afin de déterminer avec exactitude de η_0 . Maintenir la température d'entrée au-dessus du point de rosée de manière à éviter toute condensation de l'eau sur l'absorbeur, pour ne pas produire de résultats d'essai erronés. Conditions climatiques telles que décrites en 6.3.4.6, séquence de Type 1 et 2.

Sélectionner les deuxième et troisième températures d'entrée de sorte que la température moyenne du fluide dans le capteur soit également répartie entre les valeurs maximale et minimale de la plage de fonctionnement du capteur, mesurées approximativement au moment du midi solaire. Seules trois températures d'entrée du fluide sont requises pour les capteurs sans vitrage. La deuxième température doit être sélectionnée voisine de la température médiane de la plage de fonctionnement du capteur. Conditions climatiques doivent être conformes à la description en 6.3.4.6, séquence de Type 3.

Selon le type de capteur, la température d'entrée maximale du fluide doit être sélectionnée, comme décrit en 6.1.4.4 et en 6.3.4.6, séquence de Type 3.

Le changement de température d'entrée intervient généralement en fin de journée ou de série d'essai. Il est recommandé de ne pas inclure dans les données d'essai les données enregistrées au cours de cette période de changement progressif. Maintenir la température d'entrée stable à ± 1 K près au cours de chaque série d'essai.

NOTE 1 Lorsqu'une comparaison avec les paramètres d'état stationnaire doit être effectuée, il convient d'obtenir au moins quatre points de données avec la durée requise pour chaque température d'entrée du fluide. Lorsque les conditions d'essai l'autorisent, un nombre égal de points de données est généralement relevé avant et après le midi solaire pour chaque température d'entrée du fluide.

NOTE 2 Dans la mesure où le modèle de capteur utilisé dans ce cas décrit de manière plus précise les performances du capteur, l'importance de quatre points de mesure ainsi que de points de données indépendants entre ceux-ci s'en trouve réduite voire inexistante. Il est recommandé de ne tenir compte que de trois points de mesure dans une révision ultérieure de la présente méthode. La caractérisation plus complète du capteur entraîne également des restrictions moindres concernant les modèles de capteur et la présente méthode d'essai peut couvrir une plus large gamme de capteurs.

Lors d'un essai, effectuer les mesurages de la manière spécifiée en 6.3.4.5. Ces mesures peuvent alors être utilisées pour identifier les périodes d'essai à partir desquelles des données d'essai satisfaisantes peuvent être calculées.

6.3.4.5 Mesurages et recueil des données

6.3.4.5.1 Mesurages

Les mesurages suivants doivent être effectués :

- la superficie d'entrée A_a , l'aire de l'absorbeur A_A et la superficie hors-tout du capteur A_G ;
- la contenance en fluide ;
- l'irradiance solaire globale au niveau de l'ouverture du capteur ;
- l'irradiance solaire diffuse au niveau de l'ouverture du capteur ;
- l'irradiance incident de grandes longueurs d'onde au niveau de l'ouverture du capteur ;
- l'angle d'incidence d'irradiance solaire directe (ce paramètre peut aussi être déterminé par le calcul) ;
- l'azimut et l'inclinaison de l'ouverture du capteur (incertitude type supérieure $\pm 1^\circ$) ;
- la vitesse de l'air environnant ;
- la température de l'air environnant ;
- la température du fluide caloporteur à l'entrée du capteur ;

- la température du fluide caloporteur à la sortie du capteur ;
- le débit du fluide caloporteur.

6.3.4.5.2 Exigences concernant le recueil des données

Fréquence d'échantillonnage : 1 s à 6 s.

Intervalle de calcul de la moyenne arithmétique : 5 min à 10 min.

À chaque ligne de donnée (enregistrement) doit être associée une étiquette de temps unique (incertitude type supérieure ± 1 min), qui permet de calculer l'angle d'incidence d'irradiance solaire sur le capteur pour chacune (période de temps). Voir également les informations données en 6.3.1.4.

Il convient d'effectuer les calculs en ligne suivants et de les inclure dans la base de données de mesurage :

- la puissance de sortie utile du capteur ou Q ;
- la dérivée de temps de t_m dans le capteur, c'est-à-dire dt_m/dt sous la forme $(t_m \text{ nouveau} - t_m \text{ ancien}) / \text{intervalle d'échantillonnage pour } t_{in} \text{ et } t_e$.

Il convient d'effectuer le calcul en ligne de la dérivée de temps dt_m/dt étant donné l'importante répercussion observée sur les résultats finals.

La fréquence d'échantillonnage et l'intervalle de calcul de la moyenne arithmétique sont identiques à ceux applicables aux valeurs mesurées.

NOTE Lorsque le système de mesurage permet un calcul en ligne de la puissance du modèle de capteur avec les paramètres prévus, ceci constitue un outil très utile permettant de déceler toute erreur ou tout problème de mesurage. Dans le cas contraire et d'une manière générale, il est recommandé de tracer un diagramme de la puissance mesurée par rapport à la puissance modélisée au terme de chaque journée d'essai.

6.3.4.6 Période d'essai

6.3.4.6.1 Généralités

La durée de la séquence d'essai recommandée varie entre 4 j et 5 j. Le nombre de jours effectifs dépend, comme pour tous les essais de capteurs à l'extérieur, des conditions climatiques réelles sur le site d'essai. L'enregistrement doit comporter des données équivalant à l'ensemble des conditions normales de fonctionnement importantes (variabilité et gamme dynamique suffisantes), permettant d'obtenir des paramètres de capteur découplés. Cette pratique qui fait varier la température d'entrée du capteur dans sa plage de conception est similaire à celle de la méthode fixe (voir en 6.1 et en 6.2). Lorsque le nombre de données enregistrées au bout de 4 j à 5 j est suffisant, ces données doivent être évaluées pour chaque journée d'essai, suivant les directives précisées ci-dessous en 6.3.4.6.2.

6.3.4.6.2 Description des séquences d'essai

La durée minimale des séquences d'essai doit être de 3 h, conformément aux exigences décrites en 6.3.4.3. Il convient que la séquence d'essai dans des conditions η_o -, comme décrites en 6.3.4.4, soit menée dans la plupart des conditions de ciel sans nuage. Ceci doit inclure les valeurs de l'angle d'incidence de plus de 60° jusqu'aux valeurs pour lesquelles le facteur d'angle d'incidence de l'irradiance directe ne diffère pas plus de 2 % de la valeur à l'incidence normale.

Une séquence d'essai doit être menée dans des conditions de ciel partiellement nuageux, y compris ciel à nuages morcelés et ciel sans nuage. Ceci peut être une séquence d'essai dans des conditions de température de fonctionnement élevée ou des conditions η_o -, comme décrit en 6.3.4.4.

L'ordre relatif des différents jours d'essai n'est pas important, mais peut être adapté selon les conditions climatiques réelles sur le site d'essai.

6.3.4.6.3 Essai facultatif : Effet de l'inclinaison

Une journée d'essai supplémentaire doit être prévue si l'effet de l'inclinaison doit être évalué.

Au cours de cette journée, le capteur doit être soumis à l'essai avec l'autre inclinaison requise et à la température de service élevée (journée de Type 4). Cette base de données d'essai supplémentaire peut être évaluée par régression linéaire multiple étendue, concurremment à tous les autres paramètres de capteur.

NOTE Pour la régression linéaire multiple étendue, voir NOTE 2 au paragraphe 6.3.4.8.1.

6.3.4.6.4 Évaluation des données d'essai

Le présent paragraphe fournit des recommandations permettant d'évaluer le caractère approprié des données enregistrées.

Il est rappelé qu'il convient de satisfaire aux critères suivants lors de l'évaluation de l'adéquation des données d'essai :

- température extérieure - température intérieure supérieur à 1 K ;
- température intérieure stable à ± 1 K près ;
- débit stable à ± 1 % près de la valeur de consigne au cours de chaque journée d'essai ou séquence d'essai et à ± 10 % d'une séquence d'essai à l'autre.

Durant l'évaluation des données d'essai, une période de conditionnement préalable au moins égale à 4 fois la constante de temps du capteur (lorsqu'elle est connue) ou d'une durée minimale de 15 min (si la constante de temps n'est pas connue), à la température de fluide appropriée à l'entrée du capteur, doit être observée afin de garantir que l'état initial des capteurs s'estompe et qu'il n'influence pas le résultat de l'identification des paramètres.

Il convient également de noter que les enregistrements ne pouvant être expliqués ne doivent pas être exclus des données.

Pour des raisons de clarté, la plupart des exigences sont données sous la forme de diagrammes théoriques indiquant les relations significatives entre différentes conditions d'essai, y compris les plages dynamiques que doivent couvrir les données afin d'obtenir des paramètres de capteur fiables et découplés. Ces diagrammes doivent être établis sous forme de courbes pour permettre d'évaluer le caractère approprié des données d'essai utilisées pour l'identification des paramètres et doivent être inclus dans le rapport d'essai.

La Figure 7 décrit la formule $t_m - t_a$ par rapport à G^* pour vérifier si les données nécessaires ont été prélevées dans des conditions η_o – et à des températures d'entrée plus importantes. Ces données fourniront toutes les informations nécessaires à l'identification de $F'(\alpha)_{en}$ et des pertes thermiques du capteur.

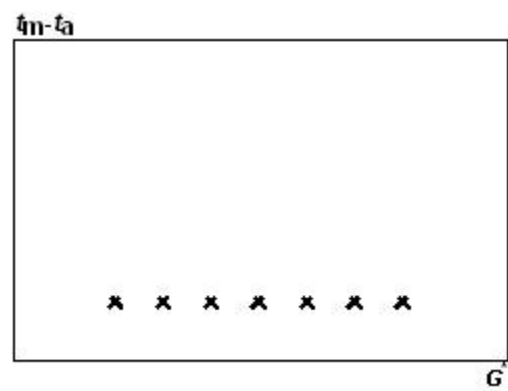


Figure 7 — Diagramme de $t_m - t_a$ par rapport à G^*

Les Figures 8 et 9 indiquent si les données incluent suffisamment de données à un angle d'incidence d'irradiance direct élevé et faible pour identifier $K_{\theta b}(\theta)$ et si des données suffisantes à des niveaux d'irradiance diffuse ont été prises pour identifier $K_{\theta d}$.

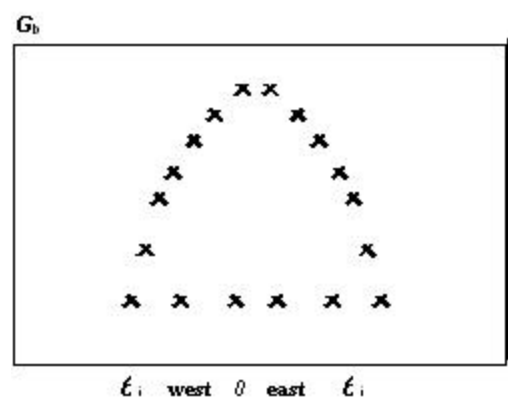


Figure 8 — Diagramme de G_b par rapport à θ_i

NOTE Les données de mesure pour des valeurs G_b - supérieures (courbe supérieure), donnent $K_{\theta b}(\theta)$. Les valeurs inférieures donnent $K_{\theta d}$.

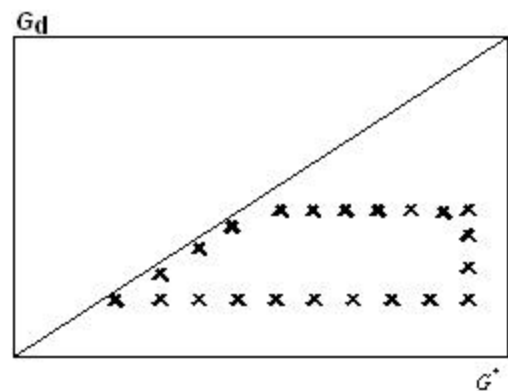


Figure 9 — Diagramme de G_b par rapport à G^*

Si la dépendance de la vitesse du vent du capteur est prise en compte, la Figure 10 doit être incluse. La Figure 10 illustre la répartition idéale des relations de la vitesse du vent par rapport à G^* .

Il convient de prendre en considération les vitesses du vent, comme décrit en 6.3.4.3.

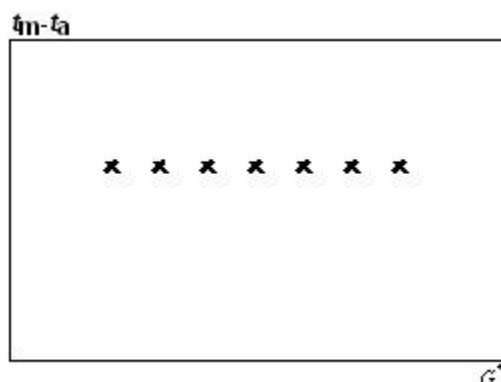


Figure 10 — Diagramme de la vitesse du vent par rapport à G^*

6.3.4.7 Présentation des résultats d'essai

Les résultats d'essai doivent être présentés dans un rapport en utilisant les feuilles de données données à l'Annexe D et à l'Annexe E, et en adaptant le texte et le contenu conformément à ce qui est indiqué en 6.3 (voir également en 6.3.4.8.4). Les mesurages doivent être collationnés en un ensemble de points de données conforme aux exigences des conditions d'essai et fournissant des informations suffisantes. Outre ce qui est indiqué dans les Annexes D et E, les données de mesurage utilisées pour l'identification des paramètres de capteur doivent être présentées sous la forme de quatre diagrammes, de 1 à 4, tel que décrit en 6.3.4.6.4, Figure 7 à Figure 10. Un cinquième diagramme (Diagramme 5), indiquant la puissance mesurée du capteur par rapport à la puissance modélisée, doit également être inclus dans le rapport d'essai. Le Diagramme 5 doit regrouper toutes les données d'essai utilisées pour l'identification des paramètres de données (voir également en 6.3.4.5.2, note). Le facteur d'angle d'incidence (IAM), $K_{\theta b}(\theta)$, doit être présenté dans un sixième diagramme (Diagramme 6) comme indiqué à la Figure 5 ou 6.

Outre les coefficients de performance du capteur requis par l'Annexe D ou E, le rapport d'essai comporte généralement l'ensemble complet des coefficients de performances quasi-dynamiques identifiés par l'équation (32).

6.3.4.8 Identification des paramètres et calcul de la puissance utile du capteur

6.3.4.8.1 Outil d'identification des paramètres du capteur

La régression linéaire multiple (RLM) est une méthode de calcul matriciel très rapide et non itérative disponible sur la plupart des progiciels classiques dotés de fonctions statistiques tels que les tableurs ou les programmes statistiques plus spécialisés tels que MINITAB ou SISS, «linéaire» dans le cas précis signifiant que le modèle doit être rédigé sous la forme d'une somme des termes précédés des paramètres p_n représentant un multiplicateur desdits termes.

$$\text{Par exemple : } Y_{\text{out}} = p_0 + p_1 \cdot f(x_1, x_2) + p_2 \cdot g(x_1, x_3, x_4) + p_3 \cdot h(x_2, x_5) \quad (31)$$

Les sous-modèles $f(x..)$, $g(x..)$ et $h(x..)$ de chaque terme peuvent être, dans une large mesure, non linéaires.

La méthode de régression linéaire multiple (RLM) permet de sélectionner en toute liberté les données dans la base de données d'essai, selon n'importe quelle spécification d'essai avant de recourir à l'identification des paramètres de régression linéaire multiple.

Cette sélection peut intervenir au terme de mesurages effectués pendant quelques jours.

NOTE 1 À titre d'exemple, ceci signifie par exemple que les données d'essai pour $G^* > 700 \text{ Wm}^{-2}$, $dt_m/dt < 0,002 \text{ Ks}^{-1}$, $u > 2 \text{ ms}^{-1}$ et $t_a - t_s > 10 \text{ K}$ peuvent être sélectionnées pour l'identification des paramètres RLM, si ces exigences d'essai sont prises en considération. L'identification des paramètres ne nécessite que quelques secondes d'utilisation d'un ordinateur, même dans le cas d'une base de données importante, ce qui permet d'utiliser la régression linéaire multiple également dans le domaine du développement et de la recherche.

NOTE 2 Depuis plusieurs années, un cas particulier de régression linéaire multiple (RLM étendue) permettant d'identifier le même paramètre dans différents sous-ensembles de la base de données fait également l'objet de nombreux essais. Il a permis d'identifier, par exemple, le rendement sans perte angle par angle sans devoir recourir à une équation, voire également selon deux axes θ_L et θ_T . Le paramètre $K_{\theta b}(\theta_i)$ est alors généralisé et remplacé par $K_{\theta b}(\theta_L, \theta_T)$ dans l'équation (32). L'identification des paramètres demeure possible au cours du même essai avec le logiciel RLM classique. Ceci est très utile pour les capteurs spéciaux tels que les capteurs ETC, les capteurs CPC ou les capteurs sans vitrage comportant des tubes absorbeurs séparés ronds ne pouvant être modélisés par les équations IAM classiques. Les résultats IAM déduits peuvent être utilisés directement dans les programmes de simulation tels que TRNSYS, WATSUN ou MINSUN. Il a été également constaté récemment que le facteur de perte thermique peut être identifié dans des plages successives de ΔT . Ceci évite tout problème de légère corrélation entre les termes ΔT et ΔT^2 . Il est également possible de modéliser le coefficient de perte thermique de cette manière pour les capteurs ayant des effets de perte thermique particuliers tels que les capteurs à caloducs ou autres modèles spécifiques.

D'autres méthodes non linéaires, à condition qu'elles réduisent au minimum l'erreur sur la puissance de sortie du capteur comme c'est le cas avec la méthode RLM, peuvent être utilisées comme outil d'identification de paramètre en plus de la méthode RLM.

6.3.4.8.2 Modèle de capteur

Ce modèle est globalement identique au modèle d'état stationnaire utilisé en 6.1 et 6.2, avec quelques termes correctifs supplémentaires. Cette méthode permet de modéliser l'effet d'irradiance directe et diffuse, de la vitesse du vent, de la température du ciel, de l'angle d'incidence et de la capacité thermique effective. Pour de plus amples informations, voir l'Annexe H.

$$\begin{aligned} \dot{Q}/A = & F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta b}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta d} G_d - c_6 u G^* - c_1 (t_m - t_a) - c_2 (t_m - t_a)^2 - \\ & - c_3 u (t_m - t_a) + c_4 (E_L - \sigma T_a^4) - c_5 dt_m/dt \end{aligned} \quad (32)$$

Lorsque la surface est A_A lorsqu'elle renvoie à l'aire de l'absorbeur du capteur et A_A lorsqu'elle renvoie à la superficie d'entrée du capteur (voir l'Annexe J).

NOTE Les degrés Kelvin sont associés au rayonnement pour des questions de commodité. Les degrés Celsius sont utilisés dans tous les autres cas, voir Article 4.

6.3.4.8.3 Utilisation du modèle de capteur pour différents types de capteur

Le modèle de capteur tel que décrit en 6.3.4.8.2 couvre la plupart des types de capteur commercialisés, à l'exception des capteurs autostockeurs. Le résultat de la régression (identification des paramètres) indique généralement s'il convient ou non d'appliquer le modèle complet de capteur à un type déterminé de capteur, mais l'utilisation de $F'(\tau\alpha)_{\text{en}}$, $K_{\theta b}(\theta)$, $K_{\theta d}$ et des coefficients c_1 , c_2 et c_5 est obligatoire, tout comme leur identification, pour tous les types de capteurs.

NOTE 1 L'utilisation de $K_{\theta d}$ n'est pas toujours significative pour les capteurs à concentration élevée comportant un dispositif de poursuite du Soleil ; il convient par conséquent de déterminer cette valeur par le rapport T de la régression tel qu'indiqué ci-dessous. Il est ensuite recommandé d'utiliser $K_{\theta b}(\theta) = 1,0$ et $K_{\theta d} = 0$ dans l'équation (32) et de répéter la régression.

Le rapport T (valeur paramétrique/écart-type de la valeur paramétrique) de la régression permet de déterminer si les coefficients c_3 , c_4 et c_6 doivent être inclus dans le modèle de capteur. Il y a lieu que le rapport T soit supérieur à 2 pour les paramètres présentés dans les résultats d'essai. Si le rapport T est inférieur à 2 (en supposant une variabilité suffisante des données d'entrée), le coefficient doit être défini à zéro et l'identification des paramètres est généralement répétée avec le modèle de capteur adapté.

L'utilisation du modèle complet de capteur est obligatoire pour les capteurs sans vitrage.

NOTE 2 Déterminé de manière expérimentale, le modèle complet de capteur, y compris les corrections de la capacité et des angles diffus et d'incidence est très précis. Lorsque le modèle ne convient pas aux données, la cause «du problème» doit dans la plupart des cas être recherchée du côté du capteur, de l'installation d'essai ou des mesurages effectués.

6.3.4.8.4 Représentation graphique des résultats d'essai

Afin d'être en conformité avec les règles de présentation, lorsque les essais sont effectués conformément à 6.1 et 6.2, les résultats d'essai doivent être présentés sous la forme d'une courbe de puissance comme fonction de la différence de température moyenne du fluide et la température ambiante ($t_m - t_a$), qui doit être calculée à partir de la fonction puissance, équation 32, en utilisant la valeur de $G^* = 1\,000\text{ Wm}^{-2}$ et une fraction diffuse de 15 %, à savoir : $G_d = 150\text{ Wm}^{-2}$. Le paramètre dt_m/dt est considéré comme égal à zéro et θ_i à 15° ($dt_m/dt = 0$ et $\theta_i = 15$) afin de s'adapter aux conditions de fonctionnement stationnaires au voisinage du midi solaire (équation 32.1). Si le modèle de capteur pour les capteurs vitrés ($c_3 > 0$ et $c_6 > 0$) tel qu'indiqué en 6.3.4.8.3 tient compte de la dépendance entre les pertes thermiques, le rendement sans perte et la vitesse du vent, il convient que l'équation utilise la vitesse de vent $u = 3\text{ ms}^{-1}$. Si le modèle se fonde sur la dépendance entre le coefficient de perte thermique et la température du ciel ($c_4 > 0$), il convient alors d'utiliser ($E_L - \sigma T_a^4$) = -100 Wm^{-2} dans l'équation.

$$\begin{aligned} \dot{Q} = & (AG^*)(F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta b}(15) \cdot 0.85 + F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta d} \cdot 0.15 - c_6 \cdot (3\text{m/s}) - c_1 (t_m - t_a) \\ & - c_2 (t_m - t_a)^2 - c_3 (3\text{m/s})(t_m - t_a) - c_4 (100\text{ W/m}^2)) \end{aligned} \quad (32.1)$$

Il est recommandé d'effectuer la représentation graphique des résultats d'essai applicables aux capteurs sans vitrage en conséquence tout en se référant à l'Annexe E.

Le produit $(AG^*)(F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta b}(15) \cdot 0.85 + F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta d} \cdot 0.15)$ doit être désigné comme W_{peak} .

NOTE ($E_L - \sigma T_a^4$) a généralement une valeur négative dans la mesure où la température d'irradiance diffuse effective est inférieure à la température de l'air ambiant. Une irradiance nette de grandes longueurs d'onde de moins 100 Wm^{-2} correspond approximativement à des conditions de ciel sans nuage lorsque

$$t_a = 20\text{ }^\circ\text{C} \text{ et } t_s = 0\text{ }^\circ\text{C}.$$

6.3.5 Détermination de la capacité thermique effective

6.3.5.1 Généralités

La capacité thermique effective (C) et la constante de temps d'un capteur sont des paramètres importants pour déterminer les performances transitoires de ce dernier. Un capteur peut généralement être considéré comme une combinaison de masses, chaque masse ayant une température différente. Lors du fonctionnement d'un capteur, chaque composant de ce dernier répond de manière différente à une modification des conditions de fonctionnement ; il est donc utile de prendre en considération une capacité thermique effective pour l'ensemble du capteur. La détermination de c_5 (voir équation 32) requiert une variation suffisamment importante de dt_m/dt . Dans la mesure où la température d'entrée est fixe en raison des exigences de compatibilité de 6.1 et 6.2, l'essai ne peut respecter cette exigence qu'en faisant varier le niveau d'irradiance.

6.3.5.2 Mode opératoire

La capacité thermique effective, modélisée sous la forme c_5 et égale à C/A , est un élément obligatoire du modèle de capteur, équation 32, identifié simultanément avec tous les autres paramètres du capteur.

Il est essentiel que l'irradiance solaire ait une variabilité suffisante au cours de l'essai pour que les effets de la capacité thermique soient significatifs. La variabilité de dt_m/dt produite par des conditions de ciel partiellement nuageux faisant partie intégrante de toutes les données empiriques obtenues jusqu'à présent est généralement suffisante pour déterminer c_5 . Le rapport dt_m/dt dépasse généralement $\pm 0,005$ K/s au cours d'une journée partiellement nuageuse type. Dans le cas, très improbable, du non-respect de ces dispositions au cours de la période d'essai, une journée d'essai supplémentaire, de Type 2 tel que décrit en 6.3.4.6.1 avec des conditions de ciel partiellement nuageux, doit compléter les données utilisées pour l'identification.

6.3.6 Facteur d'angle d'incidence du capteur

Les facteurs de l'angle d'incidence d'un capteur (IAM), modélisés sous la forme $K_{\theta b}(\theta)$ pour une irradiance directe et sous la forme $K_{\theta d}$ pour une irradiance diffuse (voir également 6.3.4.8.3, NOTE 1), sont des éléments obligatoires du modèle de capteur, équation 32. Ils sont identifiés simultanément avec tous les autres paramètres du capteur.

La modélisation de base de l'effet IAM des capteurs plans doit prendre la forme de l'équation suivante :

$$K_{\theta b}(\theta) = 1 - b_0((1/\cos \theta_i) - 1) \quad (33)$$

comme décrit par exemple dans la norme ASHRAE 93-77.

Dans le cas des capteurs (par exemple, capteurs à tubes sous vide et capteurs CPC) pour lesquels les effets de l'angle d'incidence ne sont pas symétriques au sens de l'incidence, il est nécessaire de mesurer les effets de l'angle d'incidence dans plusieurs sens pour caractériser pleinement le facteur d'angle d'incidence.

Le facteur d'angle d'incidence complexe peut s'estimer en le pesant comme le produit des facteurs d'angle d'incidence distincts, $K_{\theta L}$ et $K_{\theta T}$, pour deux plans symétriques perpendiculaires (équation 33.1).

$$K_{\theta} = K_{\theta L} K_{\theta T} \quad (33.1)$$

Le plan longitudinal (indice L) est parallèle à l'axe optique du capteur, et le plan transversal (indice T) est perpendiculaire à l'axe optique. Les angles θ_L et θ_T sont les projections de l'angle d'incidence θ sur les plans respectivement longitudinal et transversal.

Pour la corrélation entre θ , θ_L et θ_T , l'équation suivante s'applique :

$$\tan^2\theta = \tan^2\theta_L + \tan^2\theta_T \quad (33.2)$$

Lors de la mesure du facteur d'angle d'incidence dans un plan d'un capteur asymétrique optique, il convient de garder l'angle d'incidence dans l'autre plan à une valeur dans laquelle le facteur d'angle d'incidence ne diffère pas de plus de 2 % de celui à l'incidence normale.

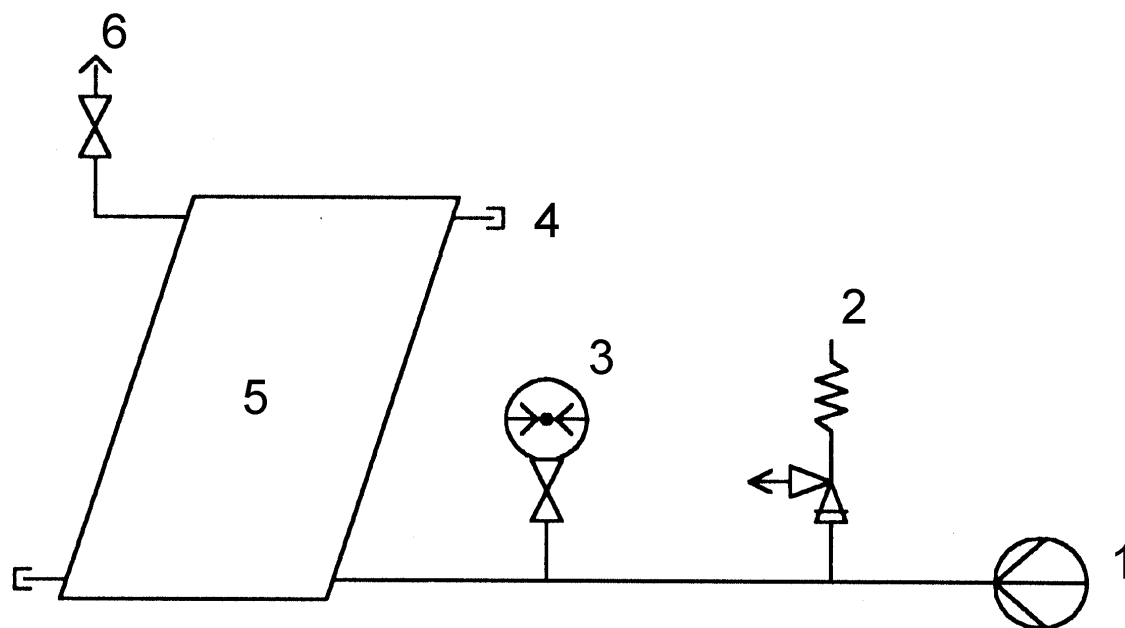
Pour les capteurs particulièrement sensibles à l'IAM, voir la note en 6.3.4.8.1.

$K_{\theta d}$ doit être modélisée comme une constante du capteur.

Pour des informations d'ordre général, se reporter également à 6.1.7.

Annexe A (normative)

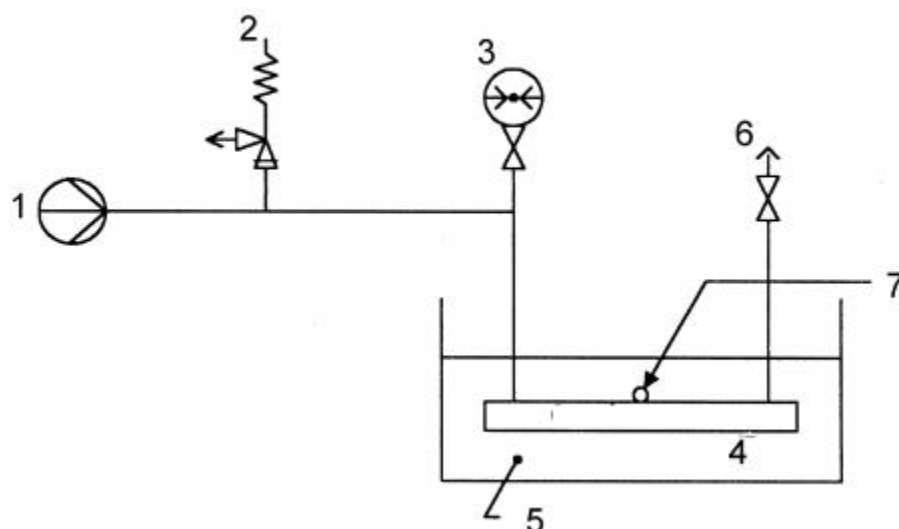
Schémas applicables aux essais de durabilité et de fiabilité



Légende

- 1 Source de pression hydraulique
- 2 Soupape de sûreté
- 3 Manomètre
- 4 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 5 Capteur avec absorbeur inorganique
- 6 Purgeur

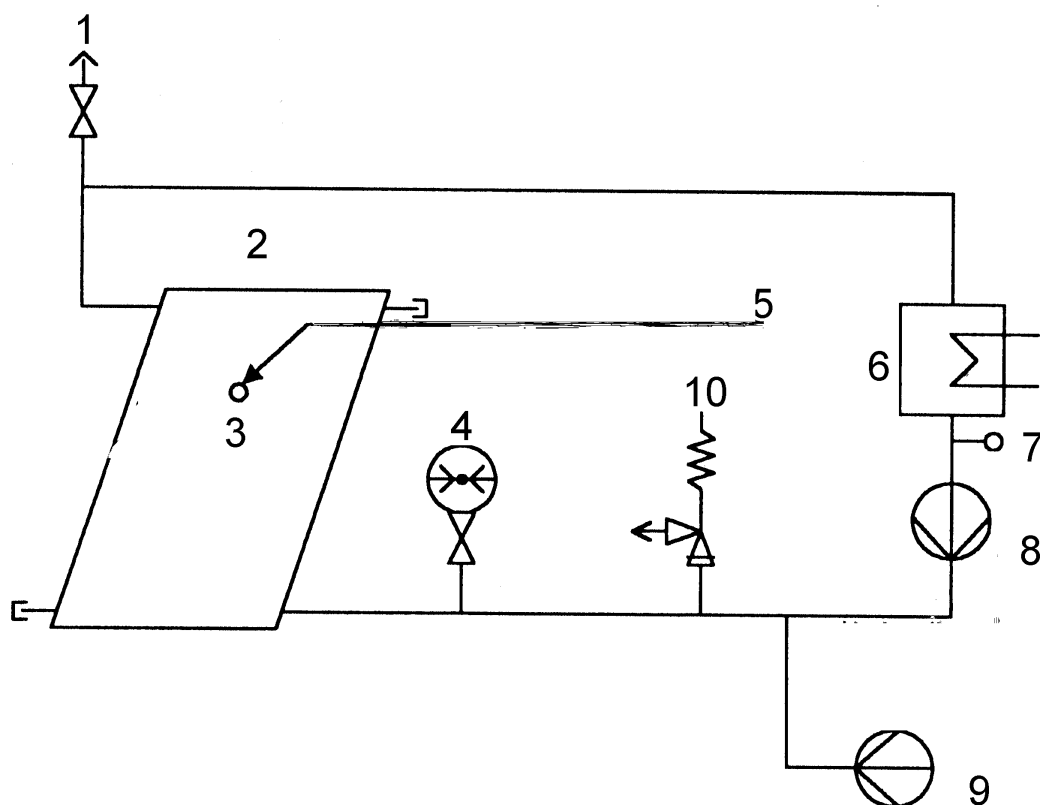
Figure A.1 — Schéma applicable à l'essai de pression interne des absorbeurs inorganiques



Légende

- 1 Source de pression hydraulique ou pneumatique
- 2 Soupape de sûreté
- 3 Manomètre
- 4 Absorbeur organique
- 5 Bain-marie chaud
- 6 Purgeur (pour absorbeur hydraulique)
- 7 Sonde de température fixée sur l'absorbeur

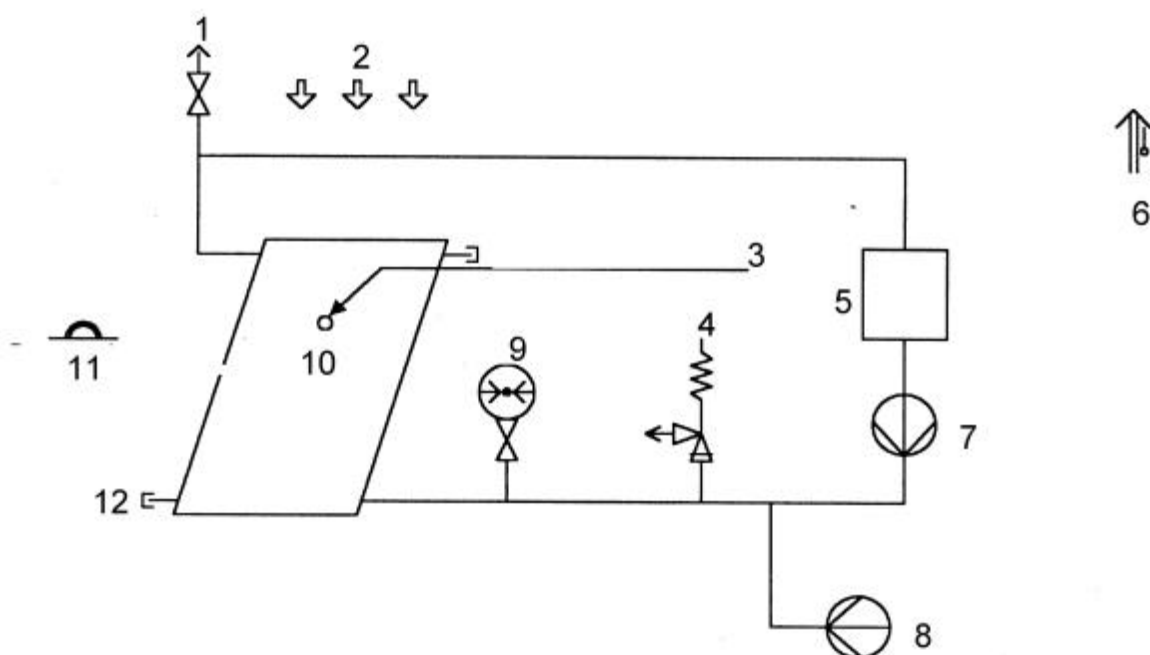
Figure A.2 — Schéma applicable à l'essai de pression interne des absorbeurs organiques destinés à être utilisés avec les capteurs sans vitrage



Légende

- 1 Purgeur
- 2 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 3 Capteur avec absorbeur organique
- 4 Manomètre
- 5 Sonde de température fixée sur l'absorbeur
- 6 Source d'huile chaude
- 7 Sonde de température
- 8 Pompe de circulation
- 9 Source de pression hydraulique
- 10 Soupape de sûreté

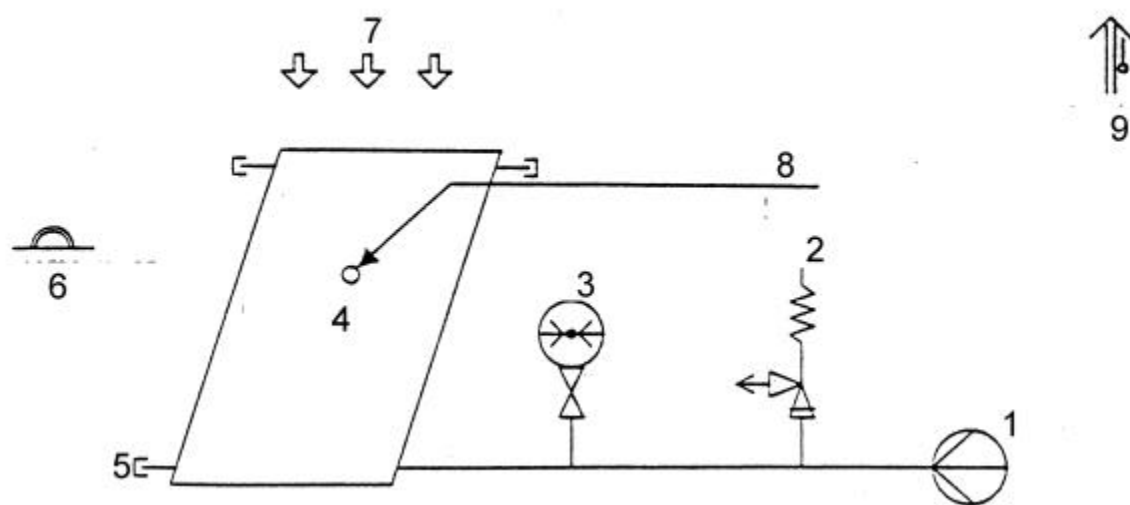
Figure A.3 — Schéma applicable à l'essai de pression interne des absorbeurs organiques destinés à être utilisés avec des fluides à base d'huile (source d'huile chaude)



Légende

- 1 Purgeur
- 2 Rayonnement solaire naturel ou simulé
- 3 Sonde de température fixée sur l'absorbeur
- 4 Soupape de sûreté
- 5 Source d'huile
- 6 Sonde de température de l'air ambiant
- 7 Pompe de circulation
- 8 Source de pression hydraulique
- 9 Manomètre
- 10 Capteur avec absorbeur organique
- 11 Pyranomètre sur le plan du capteur
- 12 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne

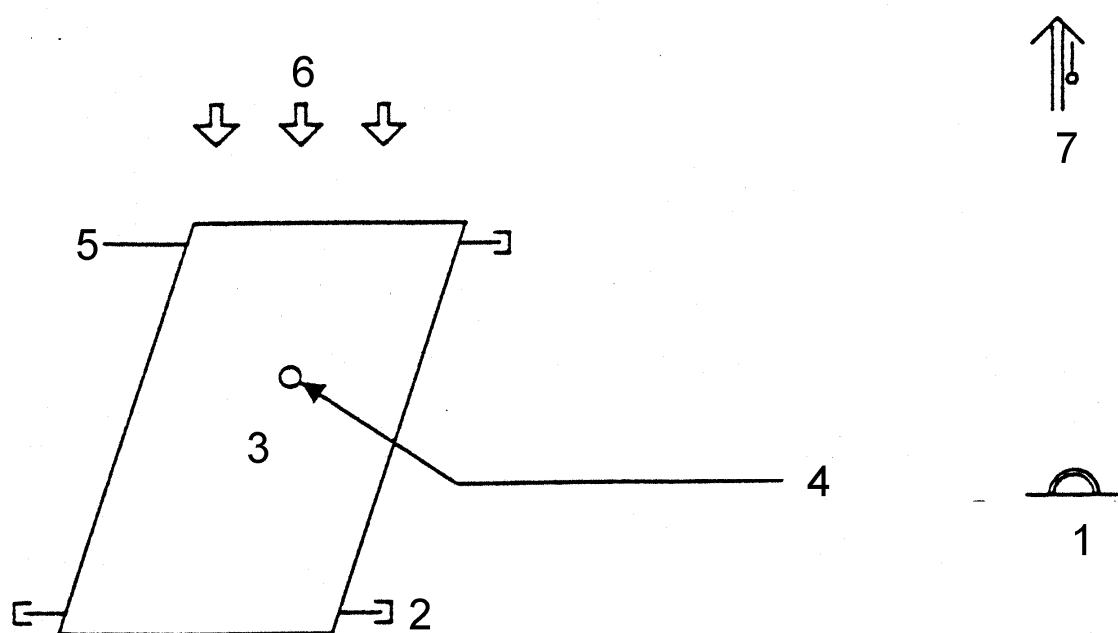
Figure A.4 — Schéma applicable à l'essai de pression interne des absorbeurs organiques destinés à être utilisés avec des fluides à base d'huile (essai sous irradiance solaire)



Légende

- 1 Source de pression pneumatique
- 2 Soupape de sûreté
- 3 Manomètre
- 4 Capteur avec absorbeur organique
- 5 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 6 Pyranomètre sur le plan du capteur
- 7 Rayonnement solaire naturel ou simulé
- 8 Sonde de température fixée sur l'absorbeur
- 9 Sonde de température de l'air ambiant

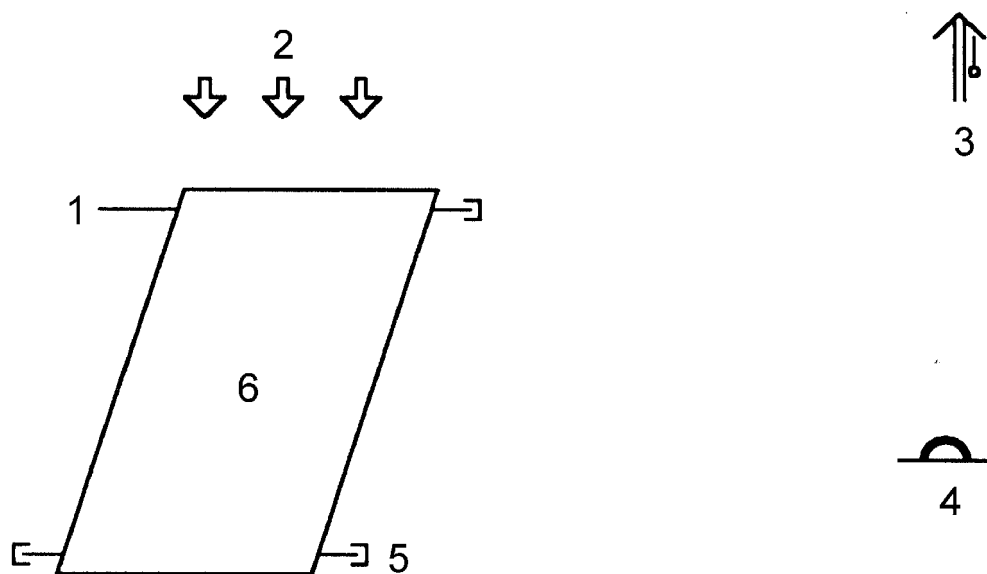
Figure A.5 — Schéma applicable à l'essai de pression interne des absorbeurs organiques (essai pneumatique sous irradiance solaire)



Légende

- 1 Pyranomètre sur le plan du capteur
- 2 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 3 Capteur
- 4 Sonde de température fixée sur l'absorbeur
- 5 Tuyau non obturé
- 6 Rayonnement solaire naturel ou simulé
- 7 Sonde de température de l'air ambiant

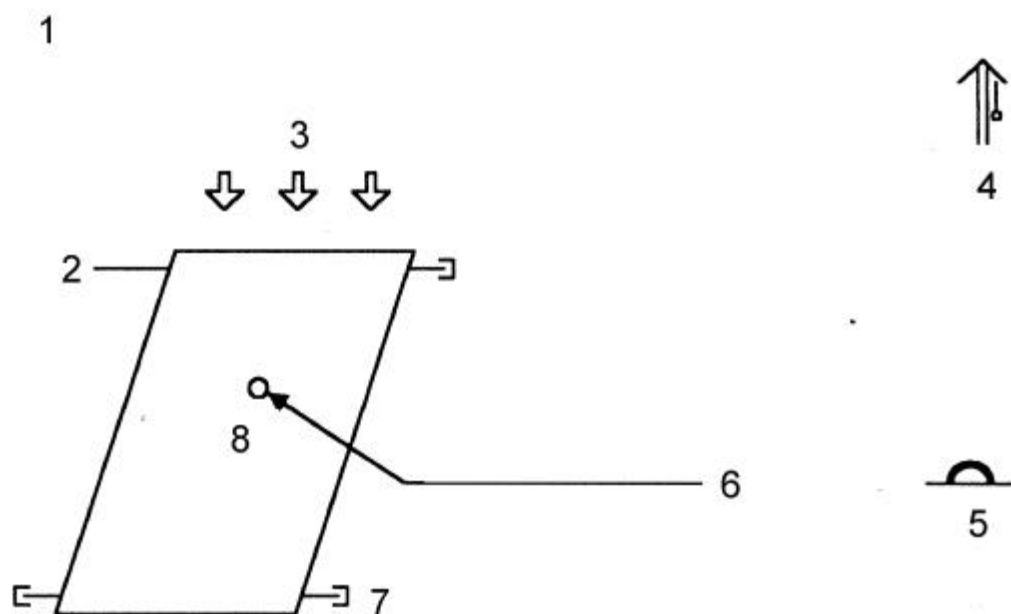
Figure A.6 — Schéma applicable à l'essai de résistance aux températures élevées (essai à l'extérieur ou dans un simulateur)



Légende

- 1 Tuyau non obturé
- 2 Rayonnement solaire
- 3 Sonde de température de l'air ambiant
- 4 Pyranomètre sur le plan du capteur
- 5 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 6 Capteur

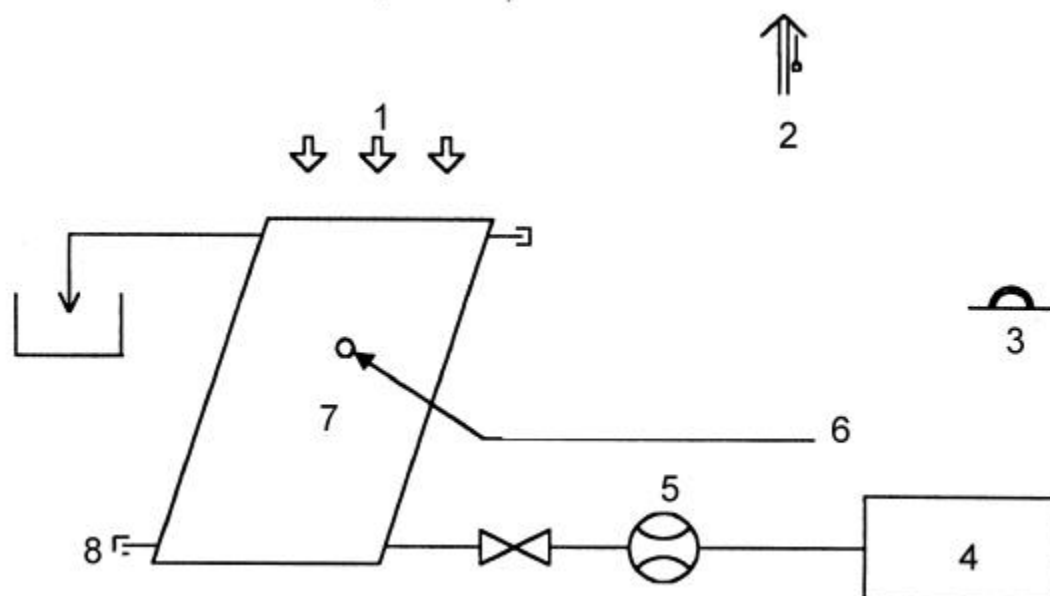
Figure A.7 — Schéma applicable à l'essai d'exposition



Légende

- 1 Pulvérisation d'eau sur toutes les faces
- 2 Tuyau non obturé
- 3 Rayonnement solaire naturel ou simulé
- 4 Sonde de température de l'air ambiant
- 5 Pyranomètre sur le plan du capteur
- 6 Sonde de température fixée sur l'absorbeur
- 7 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 8 Capteur

Figure A.8 — Schéma applicable à l'essai de choc thermique externe

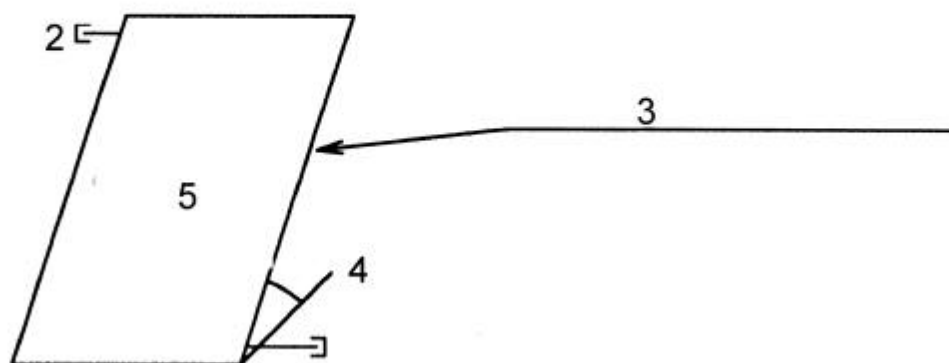


Légende

- 1 Rayonnement solaire naturel ou simulé
- 2 Sonde de température de l'air ambiant
- 3 Pyranomètre sur le plan du capteur
- 4 Source de fluide caloporteur
- 5 Débitmètre
- 6 Sonde de température fixée sur l'absorbeur
- 7 Capteur
- 8 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne

Figure A.9 — Schéma applicable à l'essai de choc thermique interne

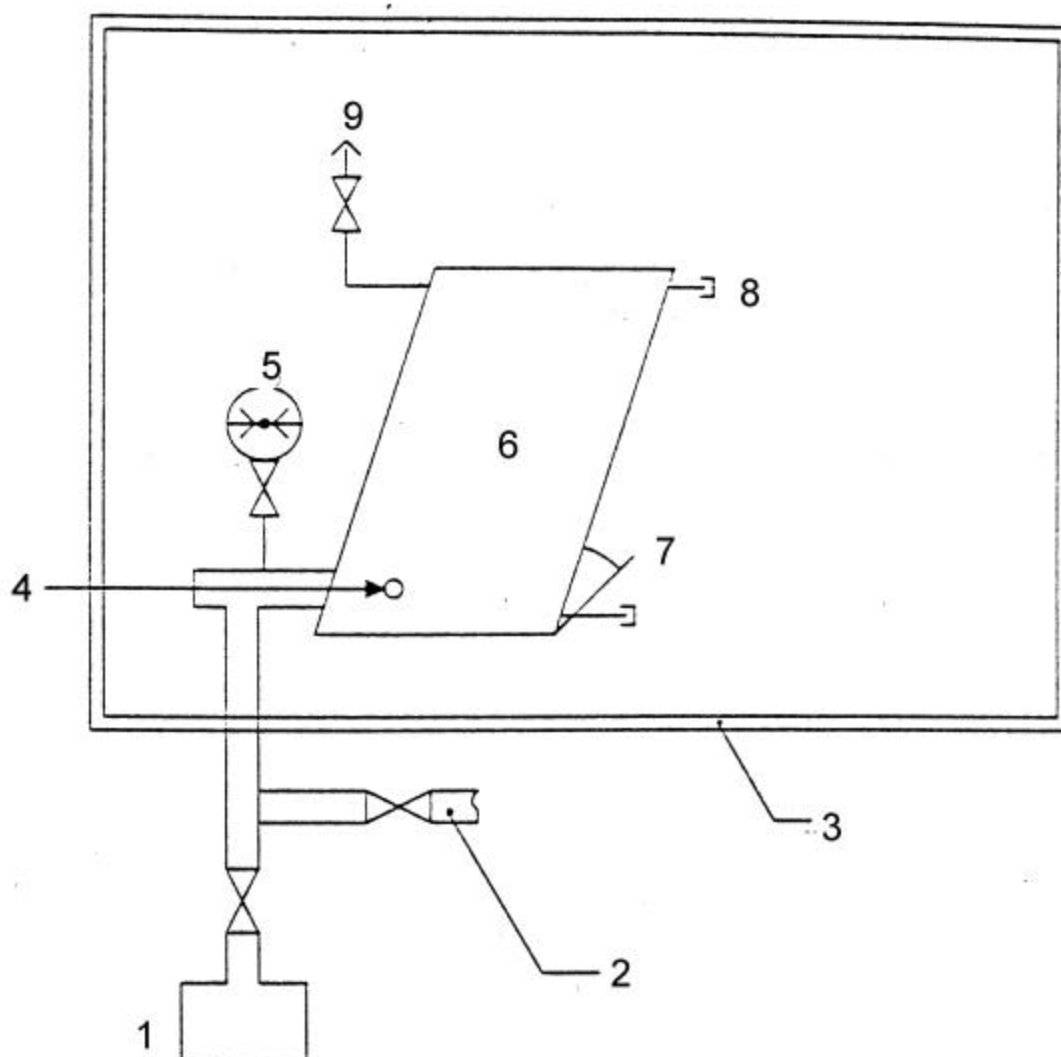
1



Légende

- 1 Pulvérisation d'eau sur toutes les faces
- 2 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 3 Face inférieure du capteur devant être protégée pour les capteurs destinés à être intégrés à une toiture
- 4 Inclinaison
- 5 Capteur

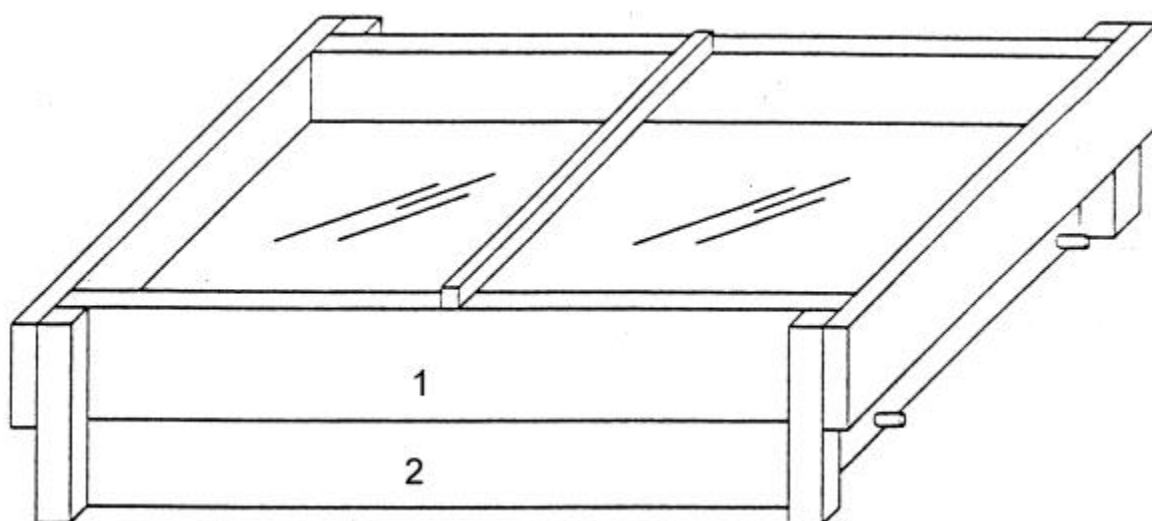
Figure A.10 — Schéma applicable à l'essai d'étanchéité à l'eau de pluie



Légende

- 1 Arrivée d'eau
- 2 Conduite de vidange (pour les installations à capteurs vidangeables vers l'extérieur uniquement)
- 3 Chambre de cycle de température
- 4 Sonde de température
- 5 Manomètre
- 6 Capteur
- 7 Inclinaison
- 8 Tuyau (contenant le fluide) obturé au moyen d'un écrou borgne
- 9 Purgeur

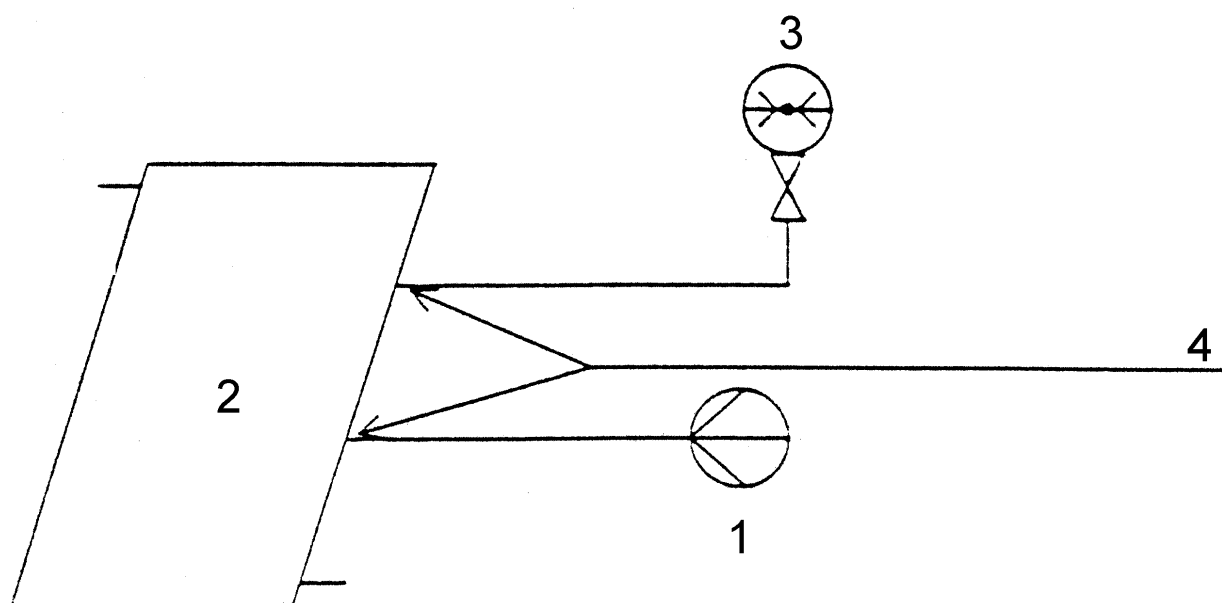
Figure A.11 — Schéma applicable à l'essai de résistance au gel



Légende

- 1 Cadre en bois pour gravier
- 2 Capteur

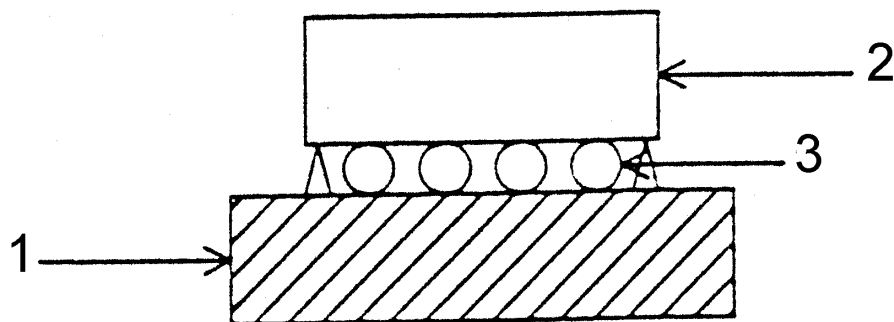
Figure A.12 — Schéma applicable à l'essai mécanique (pression positive exercée sur la couverture du capteur)



Légende

- 1 Source de pression pneumatique
- 2 Capteur
- 3 Manomètre
- 4 Orifices entre la couverture du capteur et l'absorbeur

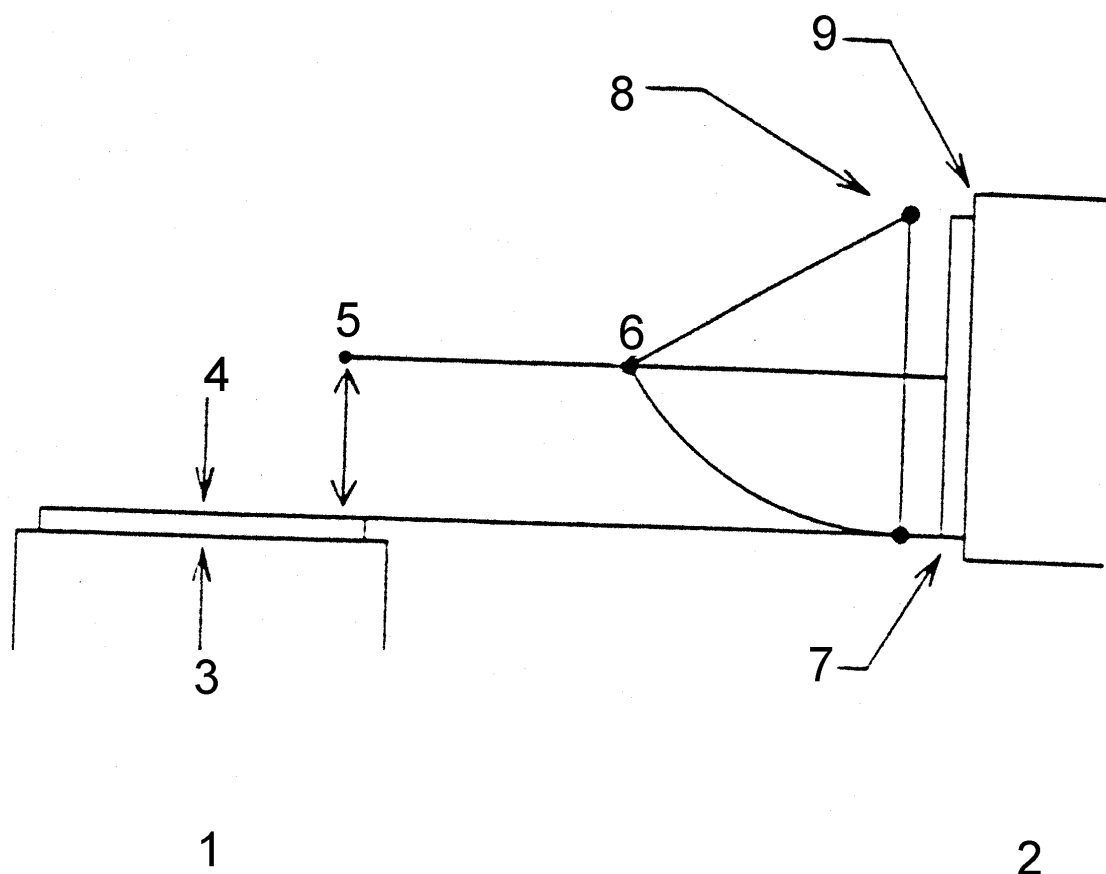
Figure A.13 — Schéma applicable à l'essai mécanique (pression négative exercée sur les fixations entre la couverture et le boîtier du capteur)



Légende

- 1 Support rigide
- 2 Capteur
- 3 Coussins d'air pour application de la pression

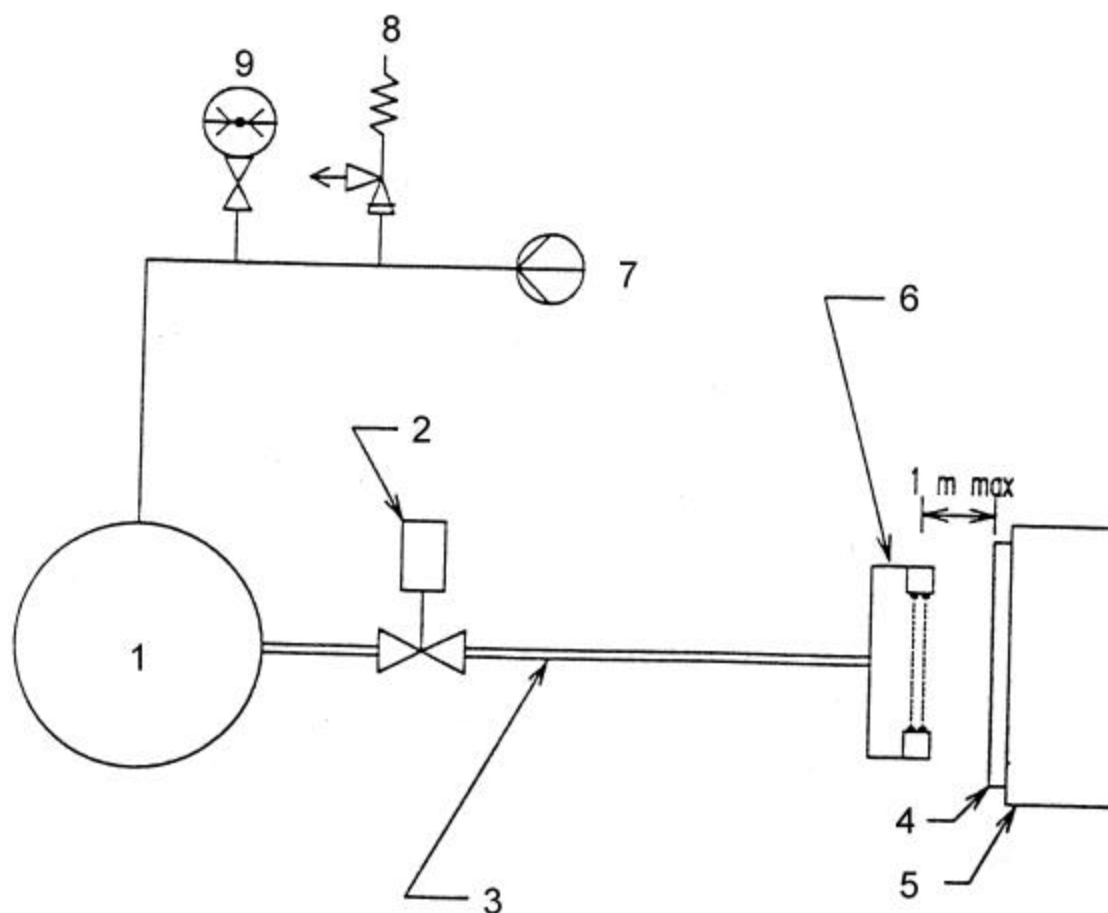
Figure A.14 — Schéma applicable à l'essai mécanique (pression négative exercée sur le support du capteur)



Légende

- 1 Alternative A (bille en acier tombant à la verticale)
- 2 Alternative B (pendule)
- 3 Cadre rigide
- 4 Capteur
- 5 Bille d'acier
- 6 Bille d'acier
- 7 Capteur
- 8 Pendule
- 9 Cadre rigide

Figure A.15 — Schéma applicable à l'essai de résistance au choc à l'aide de billes en acier



Légende

- 1 Réservoir
- 2 Électrovanne à ouverture large et rapide
- 3 Tuyau
- 4 Capteur
- 5 Cadre rigide
- 6 Système de mesure de vitesse photoélectrique
- 7 Source de pression pneumatique
- 8 Soupape de sûreté
- 9 Manomètre

Figure A.16 — Schéma applicable à l'essai de résistance au choc à l'aide de boules de glace

Annexe B (normative)

Schéma de principe pour les rapports d'essai de durabilité et de fiabilité

Identification du capteur

Fabricant
 Nom commercial :
 Type de capteur : sans vitrage/avec vitrage/sous vide
 Année de fabrication
 Numéro de série
 Plan n°

N° de référence du capteur :

B.1 Enregistrement de la séquence d'essais et résumé des principaux résultats

Il convient que tout endommagement significatif du capteur, y compris la pénétration de l'eau de pluie, fasse l'objet d'un résumé dans le Tableau B.1.

Tableau B.1

Essai		Date		Résumé des principaux résultats
		Début	Fin	
Pression interne				
Résistance aux températures élevées				
Exposition				
Choc thermique externe	Premier			
	Deuxième			
Choc thermique interne	Premier			
	Deuxième			
Étanchéité à l'eau de pluie				
Résistance au gel				
Charge mécanique				
Performances thermiques				
Résistance au choc (facultatif)				
Contrôle final				

Remarques :

.....

N° de référence du capteur :.....

B.2 Essai de pression interne pour les absorbeurs métalliques

NOTE Voir B.3 pour l'essai de pression interne pour les absorbeurs constitués de matériaux organiques.

B.2.1 Détails techniques relatifs au capteur

B.2.1.1 Type de capteur :

avec vitrage

sans vitrage

B.2.1.2 Pression de service maximale du capteur spécifiée par le fabricant : kPa

B.2.2 Conditions d'essai

Température d'essai : °C

Pression d'essai : kPa

Durée d'essai : min

B.2.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant toute fuite, tout gonflement ou toute déformation constaté(e) ou mesuré(e), ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005.

.....
.....
.....
.....

N° de référence du capteur :

B.3 Essai de pression interne pour les absorbeurs constitués de matériaux organiques

NOTE Voir B.2 pour l'essai de pression interne pour les absorbeurs constitués de matériaux inorganiques.

B.3.1 Détails techniques relatifs au capteur

B.3.1.1 Type de capteur :

avec vitrage

sans vitrage

B.3.1.2 Pression de service maximale du capteur spécifiée par le fabricant : kPa

B.3.1.3 Température de stagnation calculée du capteur : °C

Fournir les détails du calcul, en indiquant les données d'entrée utilisées (joindre le cas échéant une page supplémentaire)

B.3.2 Conditions d'essai

B.3.2.1 Fluide utilisé pour la pressurisation de l'absorbeur :

huile ;

air ;

autre (spécifier) :

B.3.2.2 Méthode utilisée pour chauffer l'absorbeur :

bain-marie

chauffage dans boucle de fluide

irradiance solaire naturelle

irradiance solaire simulée

B.3.2.3 Température d'essai mesurée de l'absorbeur : °C

B.3.2.4 Pression d'essai finale : kPa

B.3.2.5 Durée de l'essai à la pression d'essai finale : min

N° de référence du capteur :.....

B.3.2.6

Pressions d'essai intermédiaires kPa	Durée de l'essai à chaque pression intermédiaire min

B.3.2.7 Pour un absorbeur soumis à essai sous irradiance

Inclinaison du capteur (degrés par rapport à l'horizontale) : °

Irradiance moyenne lors de l'essai : W/m²

Température moyenne de l'air ambiant au cours de l'essai : °C

Vitesse moyenne du vent au cours de l'essai : m/s

B.3.3 Résultats d'essai

Détails de toute fuite, tout gonflement ou toute déformation constaté(e) ou mesuré(e) et de la pression d'essai à laquelle est intervenue ladite constatation ou mesure, ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.4 Essai de résistance aux températures élevées

B.4.1 Méthode utilisée pour réchauffer les capteurs

- essais à l'extérieur
- utilisation d'un simulateur solaire

B.4.2 Conditions d'essai

B.4.2.1 Généralités

Inclinaison du capteur (degrés par rapport à l'horizontale) :°

Irradiance moyenne lors de l'essai : W/m²

Température moyenne de l'air environnant : °C

Vitesse moyenne de l'air environnant : m/s

Température moyenne de l'absorbeur : °C

Durée de l'essai : min

B.4.2.2 Informations complémentaires requises en cas d'essai d'un capteur à tubes sous vide

Mesure de la température du capteur à l'emplacement indiqué ci-dessous :

B.4.2.3 Informations complémentaires requises en cas de mesure de la température de l'absorbeur à l'aide d'un fluide spécial (voir 5.3.2, NOTE 2)

L'absorbeur a été partiellement rempli de et la pression moyenne était de Pa, ce qui correspond à la température moyenne de l'absorbeur donnée en B.4.2.

B.4.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant toute dégradation, toute déformation, tout retrait ou toute émission de gaz constaté(e) ou mesuré(e), ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005.

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.5 Essai d'exposition

B.5.1 Conditions d'essai

Inclinaison du capteur (degrés par rapport à l'horizontale) :

Les Tableaux B.2 et B.3 donnent généralement des détails complets sur les conditions climatiques de toutes les journées d'essai, y compris :

- l'irradiance globale quotidienne, H (MJ/m²) ;
- les périodes au cours desquelles l'irradiance globale G et la température de l'air environnant t_a ont des valeurs supérieures à celles spécifiées dans le Tableau 4 ;
- la température de l'air environnant, t_o (°C) ;
- le niveau pluviométrique (mm).

B.5.2 Résultats d'essai

Il convient que le contrôle soit effectué selon B.5.5. Il est recommandé de donner une description et de fournir une évaluation complètes des problèmes ou des défaillances constatés, y compris toute défaillance définie comme « majeure » en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005, le tout étant accompagné des photographies appropriées.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.5.3 Conditions climatiques de l'ensemble des journées d'essai

Tableau B.2

Date	H MJ/m ²	t _a °C	Pluviométrie mm	Date	H MJ/m ²	t _a °C	Pluviométrie mm
Total: journées au cours desquelles H > MJ/m ²							

N° de référence du capteur :.....

Périodes au cours desquelles l'irradiance et la température de l'air environnant ont des valeurs supérieures à celles spécifiées dans le Tableau 4.

Tableau B.3

Date	G W/m ²	t_a °C	Période min
Total:			

N° de référence du capteur :.....

B.5.4 Résultats du contrôle

Évaluer chaque problème potentiel selon l'échelle suivante :

0 - Aucun problème

1 - Problème mineur

2 - Problème majeur

* - Contrôle pour déterminer que les conditions ne pouvaient être réunies

Composant de capteur	Évaluation des problèmes potentiels
a) Boîtier/attaches du capteur	Fissuration/gauchissement/corrosion/pénétration de l'eau de pluie
b) Supports/structure	Résistance/sécurité
c) Joints préformés/joints d'étanchéité	Fissuration/adhérence/élasticité
d) Couverture/réflecteur	Fissuration/craquelage/flambage/délaminage/Gauchissement/ émission de gaz
e) Revêtement de l'absorbeur	Fissuration/craquelage/cloquage
f) Tubes et collecteurs de l'absorbeur	Déformation/corrosion/fuite/décollement
g) Fixations de l'absorbeur	Déformation/corrosion
h) Isolation	Rétention d'eau/émission de gaz/dégradation

N° de référence du capteur :.....

B.6 Essai de choc thermique externe : Premier choc

B.6.1 Conditions d'essai

B.6.1.1 Généralités

Essai effectué :

À l'extérieur Dans un simulateur de rayonnement solaire

Essai combiné à l'essai d'exposition :

Oui Non

Essai combiné à l'essai de résistance aux températures élevées :

Oui Non

Inclinaison du capteur (degrés par rapport à l'horizontale) : °

Irradiance moyenne au cours de l'essai : W/m²

Irradiance minimale au cours de l'essai : W/m²

Température moyenne de l'air environnant : °C

Température minimale de l'air environnant : °C

Période au cours de laquelle les conditions de fonctionnement requises

ont été maintenues avant le choc thermique externe : min

Débit du jet d'eau : kg/(s . m²)

Température du jet d'eau : °C

Durée du jet d'eau : min

Température de l'absorbeur immédiatement avant application du jet d'eau : °C

B.6.1.2 Informations complémentaires requises en cas d'essai d'un capteur à tubes sous vide

La température du capteur a été mesurée à l'emplacement indiqué ci-dessous :

B.6.1.3 Informations complémentaires requises si la température de l'absorbeur était mesurée en utilisant un fluide spécial (tel que décrit en 5.5.2, NOTE 2)

L'absorbeur a été partiellement rempli de et la pression moyenne était de Pa, ce qui correspond à la température de l'absorbeur indiquée en B.6.1.1.

B.6.2 Résultats d'essai

Donner des détails concernant toute fissuration, déformation, condensation, pénétration d'eau ou perte de vide constatée ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005 lors de l'examen du capteur après l'essai.

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.7 Essai de choc thermique externe :

B.7.1 Conditions d'essai

B.7.1.1 Généralités

Essai effectué :

À l'extérieur Dans un simulateur de rayonnement solaire

Essai combiné à l'essai d'exposition :

Oui Non

Essai combiné à l'essai de résistance aux températures élevées :

Oui Non

Inclinaison du capteur (degrés par rapport à l'horizontale) : °

Irradiance moyenne lors de l'essai : W/m²

Irradiance minimale lors de l'essai : W/m²

Température moyenne de l'air environnant durant l'essai : °C

Température minimale de l'air environnant : °C

Période au cours de laquelle les conditions de fonctionnement requises

ont été maintenues avant le choc thermique externe : min

Débit du fluide caloporteur : kg/(s . m²)

Température du fluide caloporteur: °C

Durée du fluide caloporteur: min

Température de l'absorbeur immédiatement avant écoulement du jet d'eau : °C

B.7.1.2 Informations complémentaires requises en cas d'essai d'un capteur à tubes sous vide

La température du capteur a été mesurée à l'emplacement indiqué ci-dessous :

B.7.1.3 Informations complémentaires requises si la température de l'absorbeur était mesurée à l'aide d'un fluide spécial (tel que décrit en 5.6.2, Note 2)

L'absorbeur a été partiellement rempli de et la pression moyenne était de Pa, ce qui correspond à la température de l'absorbeur indiquée en B.7.1.1.

B.7.2 Résultats d'essai

Donner des détails concernant toute fissuration, déformation, condensation, pénétration d'eau ou perte de vide constatée ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005 lors de l'examen du capteur après l'essai.

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.8 Essai d'étanchéité à l'eau de pluie

B.8.1 Conditions d'essai

B.8.1.1 Montage du capteur

Capteur monté sur un :

cadre ajouré

toit factice

Inclinaison du capteur (degrés par rapport à l'horizontale) : °

B.8.1.2 Méthode utilisée pour maintenir l'absorbeur «chaud»

circulation d'eau chaude

exposition du capteur au rayonnement solaire

B.8.1.3 Jet d'eau

Débit du jet d'eau : kg/(s•m²)

Durée du jet d'eau : h

B.8.2 Résultats d'essai

Surface portant tout signe visible d'une pénétration d'eau (exprimée en pourcentage de la superficie d'entrée) : %

Donner les détails concernant la pénétration de l'eau, en mentionnant les points d'infiltration de cette dernière, ainsi que le temps nécessaire à la disparition des traces correspondantes.

.....
.....

Donner les détails concernant toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....
.....
.....

N° de référence du capteur :.....

B.9 Essai de résistance au gel

B.9.1 Type de capteur

résistant au gel, lorsque rempli d'eau

vidangeable vers l'extérieur

B.9.2 Conditions d'essai

B.9.2.1 Inclinaison du capteur au cours de l'essai (degrés par rapport à l'horizontale).

B.9.2.2 Détails des cycles de gel-dégel

Nombre de cycles de gel-dégel	Conditions de gel		Conditions de dégel	
	Température d'essai °C	Durée min	Température d'essai ^a °C	Durée min
1				
2				
3				

^a Dans le cas des capteurs résistant au gel, il s'agit de la température du contenu du capteur, par exemple eau, glace.
Pour les capteurs vidangeables vers l'extérieur, il s'agit de la température mesurée à l'intérieur de l'absorbeur à proximité de l'entrée.

B.9.2.3 Vitesse de refroidissement de la chambre : K/h

B.9.2.4 Vitesse de montée en température de la chambre : K/h

B.9.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant toute fuite ou toute déformation constatée ou mesurée, ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.10 Essai de charge mécanique

B.10.1 Essai de pression positive de la couverture du capteur

B.10.1.1 Méthode utilisée pour l'application de la pression

chargement avec du gravier ou matériau similaire

chargement avec de l'eau

ventouses

pressurisation de la couverture du capteur

B.10.1.2 Conditions d'essai

Charge sous pression maximale :

B.10.1.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant tout endommagement de la couverture du capteur après l'essai, en mentionnant la valeur de la charge de compression à l'origine de l'endommagement, ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....
.....
.....
.....

B.10.2 Essai de pression négative des fixations entre la couverture et le boîtier du capteur

B.10.2.1 Méthode utilisée pour l'application de la pression :

Ventouses

Pressurisation du boîtier du capteur

B.10.2.2 Conditions d'essai

Charge de compression maximale :

B.10.2.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant tout endommagement de la couverture du capteur ou des fixations de la couverture après l'essai, en mentionnant la valeur de la charge de compression à l'origine de l'endommagement, ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.10.3 Essai de pression négative des montages de capteur

B.10.3.1 Méthode utilisée pour l'application de la pression :

Ventouses

Pressurisation du boîtier du capteur

B.10.3.2 Conditions d'essai

Charge de compression maximale : Pa

B.10.3.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant tout endommagement de la couverture du capteur ou des fixations de la couverture après l'essai, en mentionnant la valeur de la charge de compression à l'origine de l'endommagement, ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.11 Essai de résistance au choc à l'aide de billes d'acier

B.11.1 Conditions d'essai

Diamètre de la bille : mm

Poids de la bille : g

Essai effectué avec :

choc vertical (chute de bille)

choc horizontal (pendule)

B.11.2 Mode opératoire

Hauteur de chute m	Nombre de chutes

B.11.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant tout endommagement du capteur ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005.

.....

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :.....

B.12 Essai de résistance au choc à l'aide de boules de glace

B.12.1 Conditions d'essai

Diamètre de la boule : mm

Poids de la boule : g

Vitesse de la boule : m/s

B.12.2 Mode opératoire

Nombre d'impacts :

B.12.3 Résultats d'essai

Donner des détails concernant tout endommagement du capteur ainsi que toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005

.....

.....

.....

.....

.....

N° de référence du capteur :

B.13 Résultats du contrôle final

Évaluer chaque problème potentiel selon l'échelle suivante :

0 - Aucun problème

1 - Exigence, hormis l'essai, non satisfaite

2 - Exigences pour l'essai non satisfaites

* - Contrôle pour déterminer que les conditions ne pouvaient être réunies

Composant de capteur	Évaluation des problèmes potentiels
a) Boîtier/attaches du capteur	Fissuration/gauchissement/corrosion/pénétration de l'eau de pluie
b) Supports/structure	Résistance/sécurité
c) Joints préformés/joints d'étanchéité	Fissuration/adhérence/élasticité
d) Couverture/réflecteur	Fissuration/craquelage/flambage/délaminage gauchissement/émission de gaz
e) Revêtement de l'absorbeur	Fissuration/craquelage/cloquage
Tubes et collecteurs de l'absorbeur	Déformation/corrosion/fuite/décollement
Supports de l'absorbeur	Déformation/corrosion
f) Isolation	Rétention d'eau/émission de gaz/dégradation

Annexe C (normative)

Température de stagnation des capteurs à chauffage liquide

C.1 Généralités

La présente annexe fournit une méthode de calcul de la température de stagnation d'un capteur, à savoir la température du capteur au cours de périodes d'absence de refroidissement du capteur compte tenu de valeurs élevées du rayonnement solaire et de l'air ambiant et environnant.

Il convient de déterminer la température de stagnation pour une irradiance solaire G_s et une température de l'air ambiant t_{as} sélectionnées.

La température de stagnation calculée est utilisée pour déterminer la température d'essai pour :

- l'essai de pression interne des capteurs avec absorbeurs organiques (voir en 5.2.2) ;
- l'essai de résistance aux températures élevées en utilisant une boucle de fluide chaud (voir en 5.3).

C.2 Détermination de la température de stagnation

La température de stagnation t_{stg} , pour les valeurs sélectionnées de l'irradiance solaire G_s et de la température ambiante t_{as} , est calculée par extrapolation, des valeurs d'état stationnaire mesurées :

- de l'irradiance solaire G_m (naturelle ou simulée) sur le plan du capteur ;
- de la température de l'air ambiant t_{am} ;
- de la température de l'absorbeur t_{sm} .

Le capteur étant exposé à l'irradiance solaire et à la température ambiante disponibles (à l'extérieur ou dans un simulateur de rayonnement solaire) dans des conditions d'état stationnaire sans extraction de la chaleur du capteur (conditions de stagnation).

L'expression permettant de déterminer la température de stagnation pour les paramètres sélectionnés (G_s et t_{as}) est la suivante :

$$t_{stg} = t_{as} + \frac{G_s}{G_m} (t_{sm} - t_{am}) \quad (C.1)$$

Elle est fondée sur l'approximation selon laquelle le rapport $(t_{sm} - t_{am})/G_m$ demeure constant dans des conditions de stagnation du capteur à l'état stationnaire.

Cette approximation est acceptable uniquement si le niveau d'irradiance (G_m) utilisé lors de l'essai est égal à l'irradiance spécifiée pour les conditions de stagnation (G_s) à 10 % près.

Annexe D (normative)

Rapport d'essai de performances des capteurs solaires vitrés dans les conditions d'état stationnaire

D.1 Généralités

N° de référence du capteur :

Essai effectué par :

Adresse :

Date, tél., fax :

D.2 Description d'un capteur solaire

Nom du fabricant :

Nom commercial

Numéro de série :

Type de capteur : sans vitrage/vitré/sous vide

Plan n° :

Année de fabrication :

Plage de débit

en kg/s

Pression de service

kPa

Température de stagnation à 1 000 W/m²

°C

et une température ambiante de 30 °C

Dispositif du capteur :

Capteur :

Désignation :

Plan/sous vide/sous-atmosphérique : Superficie hors-tout :

Superficie d'entrée :

Aire de l'absorbeur :

Dimensions du capteur

Longueur :	mm	Aire de l'absorbeur :	m ²
Largeur :	mm	Superficie d'entrée :	m ²
Hauteur :	mm	Superficie hors-tout :	m ²

Poids, à vide :

Teneur en fluide :

Nombre de couvertures :

Matériaux constitutifs de la couverture :

Épaisseur de la couverture :

Transmittance solaire de la couverture :

Absorbeur :

Matériau :

Largeur des ailettes :

Épaisseur des ailettes :

Absorbance solaire α :

Émissivité hémisphérique ε :

Traitement de surface :

Type de construction :

Nombre de tubes :

Diamètre ou dimensions de tube :

Distance entre les tubes :

Dimensions :

Isolation thermique et revêtement :

Épaisseur de l'isolation thermique :

Matériau isolant :

Matériau de revêtement :

Matériau d'étanchéité :

Restrictions :

Température de service maximale :

Pression de service maximale :

Autres restrictions :

Photographie du capteur

Commentaires relatifs à la conception du capteur

Diagramme schématique du montage du capteur

Diagramme schématique de la boucle d'essai

Fluide caloporteur : eau/huile/autre

Spécifications (adjuvants,...) :

Autres fluides caloporteurs acceptables :

D.3 Résultats d'essai

6.1 A l'extérieur – Méthode
d'état stationnaire

6.1 A l'intérieur – Méthode
d'état stationnaire

6.1 À l'extérieur – Méthode
quasi-dynamique

À l'extérieur

Latitude :

Longitude :

Azimut du capteur :

Inclinaison du capteur :

Orientation des tubes de l'absorbeur durant l'essai (horizontale ou verticale) :

Puissance maximale ($G = 1\,000\text{ W/m}^2$) par capteur : W_{peak}

À l'intérieur

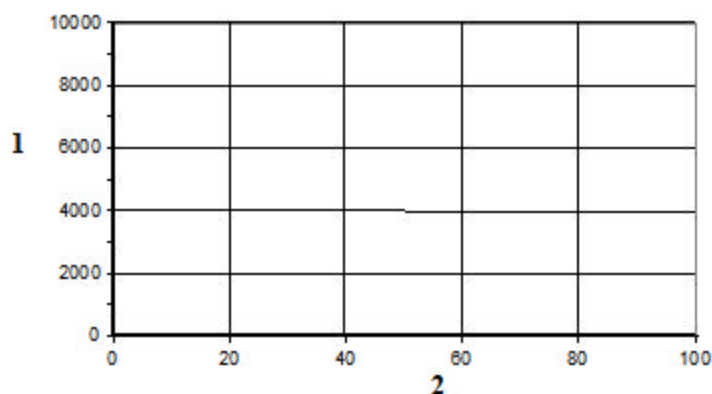
Irradiance solaire moyenne :

Type des lampes utilisées :

Protection contre le rayonnement de grandes
longueurs d'onde : oui non

Puissance fournie par le capteur (W) :

Irradiance			
$T_m - T_a$ en K	400 W/m ²	700 W/m ²	1 000 W/m ²
10			
30			
50			
NOTE Les valeurs consignées sont valables pour une incidence normale.			



Légende

- 1 Puissance fournie par capteur [W]
 2 $(t_m - t_a)$ [K]

Figure D.1 — Puissance fournie par capteur (pour $G = 1\,000\text{ W/m}^2$)

Courbe de rendement instantané fondée sur l'aire de l'absorbeur/la superficie/d'entrée et la température moyenne du fluide caloporteur.

De référence : Aire de l'absorbeur A_A

Superficie de référence : Superficie d'entrée A_a

Aire de l'absorbeur utilisée pour la courbe en m² : Superficie d'entrée utilisée pour la courbe en m² :

Le rendement instantané est défini par :

$$\eta_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G} \quad (\text{D.1})$$

$$\eta_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \quad (\text{D.2})$$

Débit de fluide utilisé pour les essais : kgs⁻¹

Superficie hors-tout du capteur : m²

Lissage de second ordre aux données :

$$\eta_A = \eta_{0A} - a_{1A} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2A} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (\text{D.3}) \quad \eta_a = \eta_{0a} - a_{1a} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (\text{D.4})$$

A partir de la superficie de l'absorbeur		Écart-type	A partir de la superficie d'entrée		Écart-type
η_{oA}			η_{oa}		
a_{1A}			a_{1a}		
a_{2A}			a_{2a}		
Dans le cas de 6.3, il convient d'inclure au présent document les résultats d'essai conformes à l'Annexe J.					

Constante de temps $\tau_c = s$ **Capacité thermique effective** $C = JK^{-1}$

Détermination :

Calcul :

à l'intérieur :

à l'extérieur :

Facteur d'angle d'incidence

Angle :

 K_θ :**Défaillances constatées**

Donner les détails concernant toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005.

Échantillon fourni le :

Début des essais :

Fin des essais :

Laboratoire d'essai : Date :

Annexe E (normative)

Résumé du rapport d'essai des performances des capteurs vitrés

E.1 Généralités

N° de référence du capteur :

Essai effectué par :

Adresse :

Date, tél., fax :

E.2 Description d'un capteur solaire

Nom du fabricant :

Nom commercial

Numéro de série :

Type de capteur : sans vitrage/vitré/sous vide

Plan n° :

Année de fabrication :

Plage de débit

en kg/s

Pression de service

kPa

Température de stagnation à 1 000 W/m²

°C

et une température ambiante de 30 °C

Dispositif du capteur :

Capteur :

Désignation :

Plan/sous vide/sous-atmosphérique :

Superficie hors-tout :

Superficie d'entrée :

Aire de l'absorbeur :

Dimensions du capteur

Longueur :	mm	Aire de l'absorbeur :	m ²
Largeur :	mm	Superficie d'entrée :	m ²
Hauteur :	mm	Superficie hors-tout :	m ²

Poids, à vide :

Teneur en fluide :

Absorbeur :

Matériau :

Largeur des ailettes :

Épaisseur des ailettes :

Absorbance solaire α :

Émissivité hémisphérique ε :

Traitement de surface :

Type de construction :

Nombre de tubes :

Diamètre ou dimensions de tube :

Distance entre les tubes :

Dimensions :

Restrictions :

Température de service maximale :

Pression de service maximale à 45 ° C :

Pression de service maximale à température de service maximale :

Autres restrictions :

Photographie du capteur

Commentaires relatifs à la conception du capteur

Diagramme schématique du montage du capteur

Efficacité instantanée :

Fluide caloporteur : eau/huile/autre

Spécifications (adjuvants,...) :

Autres fluides caloporteurs acceptables :

E.3 Résultats d'essai

6.1 À l'extérieur – Méthode
d'état stationnaire

6.1 À l'intérieur – Méthode
d'état stationnaire

6.3 À l'extérieur – Méthode
quasi-dynamique

À l'extérieur

Latitude :

Longitude :

Azimut du capteur :

Inclinaison du capteur :

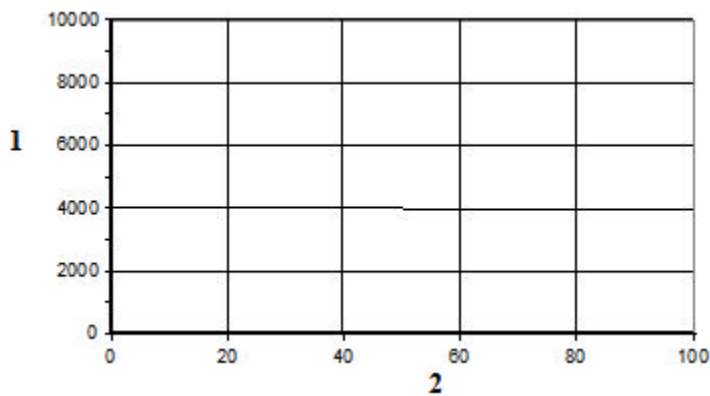
Orientation des tubes de l'absorbeur durant l'essai (horizontale ou verticale) :

Puissance maximale ($G = 1\,000\text{ W/m}^2$) par capteur : W_{peak}

Puissance fournie par le capteur (W) :

Irradiance			
$T_m - T_a = 2\text{ K}$	400 W/m^2	700 W/m^2	$1\,000\text{ W/m}^2$
$u < 1\text{ m/s}$			
$u = 1,5 \pm 0,5\text{ m/s}$			
$u = 3 \pm 0,5\text{ m/s}$			

La puissance fournie par capteur doit être présentée graphiquement selon la figure E.1 dans les conditions de vent suivantes : $u < 1\text{ ms}^{-1}$, $u = 1,5 \pm 0,5\text{ ms}^{-1}$ et $u = 3 \pm 0,5\text{ ms}^{-1}$



Légende

- 1 Puissance fournie par capteur [W]
- 2 $(t_m - t_a)$ [K]

Figure E.1 — Puissance fournie par capteur

Courbe de rendement instantané fondée sur l'aire du capteur et la température moyenne du fluide caloporteur.

Le rendement instantané est défini par : $\eta = \frac{\dot{Q}}{AG''}$ (E.1)

Aire du capteur utilisé pour la courbe : m²

Débit de fluide utilisé pour les essais : kgs⁻¹

$\eta = \eta_o(1 - b_u u) - (b_1 + b_2 u) \frac{(t_m - t_a)}{G''}$ (E.2)

A partir de l'aire de l'absorbeur		A partir de la superficie de l'entrée	
η_{oA} ?		η_{oa}	
b_{uA}		b_{ua}	
b_{1A}		b_{1a}	
b_{2A}		b_{2a}	
Dans le cas de 6.3, il convient d'inclure au présent document les résultats d'essai conformes à l'Annexe J.			

Constante de temps

$\tau_c = s$

Capacité thermique effective

$C = JK^{-1}$

Détermination :

Calcul :

à l'intérieur :

prEN 12975-2:2005 (F)

à l'extérieur :

Facteur d'angle d'incidence

Angle :

K_{θ} :

Défaillances constatées

Donner les détails concernant toute défaillance définie comme «majeure» en 5.3.1 du prEN 12975-1:2005.

Échantillon fourni le :

Début des essais :

Fin des essais :

Laboratoire d'essai : Date :

Annexe F (normative)

Modélisation des coefficients c_1 à c_6 du modèle de capteur décrit en 6.3

Le coefficient c_1 est le coefficient de perte thermique à $(t_m - t_a) = 0$ [Wm⁻²K⁻¹]

c_1 est modélisé sous la forme $F' U_0$.

Le coefficient c_2 est l'effet de la température sur le coefficient de perte thermique [Wm⁻²K⁻²]

c_2 est égal à $F' U_1$

Le coefficient c_3 est l'effet de la vitesse du vent sur le coefficient de perte thermique [Jm⁻³K⁻¹]

c_3 est égal à $F' U_u$

Le coefficient c_4 est l'effet de l'irradiance de grandes longueurs d'onde sur le coefficient de perte thermique [-]

c_4 est égal à $F\varepsilon$

NOTE La modélisation de l'effet de l'irradiance de grandes longueurs d'onde sur le capteur repose sur le principe décrit dans la norme de base ISO 9806-3:1995, paragraphe 8.8, pour l'essai des capteurs sans vitrage. L'irradiance nette de grandes longueurs d'onde est définie comme $(E_L - \sigma T_a^4)$ où E_L est l'irradiance thermique de grandes longueurs d'onde mesurée dans le plan du capteur.

Une différence purement mathématique existe toutefois entre l'ISO 9806-3 et la présente norme qui supprime G'' et n'utilise plus le coefficient $\varepsilon\alpha$ dans l'équation. Les corrections du rayonnement de grande longueur d'onde sont identiques d'un point de vue physique. Dans la présente norme, le facteur de correction applicable au rayonnement de grande longueur d'onde est traité comme un terme de perte thermique indépendant et ne fait pas partie intégrante du terme de rayonnement effectif G'' tel que défini dans l'ISO 9806-3. La principale raison est que l'équation relative au capteur s'en trouve simplifiée, dans la mesure où la présente méthode tient également compte des effets de l'angle d'incidence ainsi que de ceux du rayonnement diffus. Dans ce cas, α est généralement corrigé pour tenir compte de ces effets. La norme ISO 9806-3, ne prend pas en compte ces facteurs et simplifie l'équation en utilisant G'' et le facteur $\varepsilon\alpha$.

Le coefficient c_5 est la capacité thermique effective [Jm⁻²K⁻¹]

c_5 est égal à C/A (définition de C , voir 6.1.6.2).

NOTE C est souvent noté $(mC)_e$, dans la bibliographie de référence.

Le coefficient c_6 est l'effet de la vitesse du vent sur le rendement optique [sm⁻¹]

c_6 est modélisé comme constante du capteur.

$K_{\theta b}(\theta)$ est le facteur d'angle d'incidence (IAM) pour un rayonnement direct [-]

La modélisation de base de l'effet de l'IAM utilise l'équation suivante :

$$K_{\theta b}(\theta) = 1 - b_0((1/\cos \theta_i) - 1) \quad (\text{H.1})$$

comme décrit, par exemple, dans le document ASHRAE 93-77.

Pour les capteurs avec effet IAM particulier, voir Note 2 en 6.3.4.8.1.

$K_{\theta d}$ est le facteur d'angle d'incidence pour un rayonnement diffus [-]

$K_{\theta d}$ est modélisé comme une constante du capteur.

Annexe G (normative)

Mesurage de la capacité thermique effective

G.1 Installation d'essai

Le capteur est monté conformément aux recommandations de 6.1.1 et raccordé à une boucle d'essai pour le mesurage de la capacité thermique.

Les mesurages de la capacité thermique effective peuvent être effectués à l'intérieur, où seule la perte thermique est mesurée. Elles peuvent également être effectuées à l'extérieur dans des conditions de ciel sans nuage à l'état stationnaire ou dans un simulateur de rayonnement solaire.

G.2 Mode opératoire à l'intérieur

G.2.1 Généralités

Le fluide caloporteur circule de la partie supérieure vers la partie inférieure du capteur à une température d'entrée constante, avec un débit similaire à celui défini pour les essais de rendement du capteur, jusqu'à ce que les conditions d'état stationnaire soient atteintes.

Augmenter la température d'entrée du fluide rapidement d'environ 10 K. Effectuer les mesurages de manière continue jusqu'à ce que des conditions d'état stationnaire soient une nouvelle fois atteintes. Répéter l'opération à quatre reprises et calculer de ce fait une valeur moyenne arithmétique de la capacité thermique effective.

G.2.2 Mesurages

Mesurages des grandeurs suivantes :

- a) débit-masse du fluide caloporteur ;
- b) température du fluide caloporteur à l'entrée du capteur ;
- c) température du fluide caloporteur à la sortie du capteur ;
- d) température de l'air environnant.

NOTE L'essai de capteurs ayant une faible capacité thermique peut requérir de choisir pour la mesure des températures du fluide, une fréquence d'étalonnage supérieure à la fréquence généralement utilisée pour les essais de rendement des capteurs afin de suivre correctement le comportement transitoire du capteur.

G.2.3 Calcul de la capacité thermique effective

Le comportement transitoire du capteur entre les deux états stationnaires intérieurs 1 et 2 est représenté par l'équation suivante :

$$C \frac{dt_m}{dt} = -m C_f \Delta T - AU (t_m - t_a) \quad (\text{G.1})$$

où

$$\Delta T = (t_e - t_{in})(\text{negative}) \quad (\text{G.2})$$

et t_{in} et t_e sont les températures du fluide caloporteur à l'entrée et à la sortie du capteur respectivement, selon le nouveau sens d'écoulement du fluide.

L'intégration de l'équation sur la période comprise entre les deux états stationnaires donne l'équation suivante :

$$C(t_{m2} - t_{m1}) = - \int_{t1}^{t2} \dot{m} c_f \Delta T dt - AU \int_{t1}^{t2} (t_m - t_a) dt \quad (\text{G.3})$$

Dans la mesure où :

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (\text{G.4})$$

$(t_m - t_a)$ peut être exprimé sous la forme :

$$t_m - t_a = (t_{in} - t_a) + \frac{\Delta T}{2} \quad (\text{G.5})$$

La combinaison et le réarrangement des équations susmentionnées donnent l'équation suivante applicable à la capacité thermique du capteur :

$$C = \frac{- \dot{m} c_f \int_{t1}^{t2} \Delta T dt - AU \left[\int_{t1}^{t2} (t_{in} - t_a) dt + \frac{1}{2} \int_{t1}^{t2} \Delta T dt \right]}{t_{m2} - t_{m1}} \quad (\text{G.6})$$

G.2.4 Détermination de la capacité thermique effective à partir des données expérimentales

$(t_{in} - t_a)$ et ΔT sont tracés en fonction du temps, à partir des résultats d'essai. Les aires situées en dessous des courbes, entre les deux états stationnaires, sont :

$$\int_{t1}^{t2} (t_{in} - t_a) dt \quad \text{et} \quad \int_{t1}^{t2} \Delta T dt$$

respectivement.

Le coefficient de transfert thermique U du capteur peut avoir déjà été déterminé lors de la mesure de la perte thermique du capteur effectuée à l'intérieur. AU peut toutefois être obtenu directement à partir de deux états stationnaires dans la mesure où un état stationnaire comprend :

$$0 = - \dot{m} c_f \Delta T - AU(t_m - t_a) \quad (\text{G.7})$$

d'où l'équation suivante :

$$AU = - \frac{\dot{m} c_f \Delta T}{t_m - t_a} \quad (\text{G.8})$$

AU est évalué pour les deux états stationnaires, et la valeur moyenne arithmétique est relevée.

L'insertion de ces valeurs expérimentales dans l'équation (G.6) permet de déterminer une valeur de la capacité thermique effective

G.3 Mode opératoire à l'extérieur ou par simulateur de rayonnement solaire

Le fluide circule à une température constante, en utilisant un débit similaire à celui défini pour l'essai de rendement des capteurs, jusqu'à l'obtention de conditions d'état stationnaire. L'ouverture du capteur est généralement protégée contre le rayonnement solaire (naturel ou simulé) au moyen d'une couverture réfléchissante (solaire).

Après retrait de la couverture, effectuer les mesurages de manière continue jusqu'à ce que des conditions d'état stationnaire soient obtenues une nouvelle fois. Répéter ces opérations à quatre reprises et en déduire une valeur moyenne arithmétique de la capacité thermique effective.

Effectuer les mesurages indiqués en G.2.2. Mesurer également l'irradiance solaire (naturelle ou simulée) G .

Le comportement transitoire du capteur entre les deux états stationnaires 1 et 2 est représenté par l'équation suivante :

$$C \frac{dt_m}{dt} = A \tau_0 G - \dot{m} c_f \Delta T - AU(t_m - t_a) \quad (G.9)$$

où, comme dans le cas de G.2.3,

$$\Delta T = (t_e - t_{in}) \text{ (positive)}$$

L'intégration de l'équation (G.9) sur la période comprise entre les deux états stationnaires donne l'équation suivante pour la capacité thermique du capteur :

$$C = \frac{A \tau_0 \int_{t1}^{t2} G dt - \dot{m} c_f \int_{t1}^{t2} \Delta T dt - AU \left[\int_{t1}^{t2} (t_{in} - t_a) dt + \frac{1}{2} \int_{t1}^{t2} \Delta T dt \right]}{t_{m2} - t_{m1}} \quad (G.10)$$

$(t_{in} - t_a)$, ΔT et G sont tracés en fonction du temps, à partir des enregistrements d'essai. Les aires situées en dessous des courbes, entre les deux états stationnaires, sont :

$$\int_{t1}^{t2} (t_{in} - t_a) dt, \quad \int_{t1}^{t2} \Delta T dt \quad \text{et} \quad \int_{t1}^{t2} G dt$$

respectivement.

Le segment de l'axe des ordonnées $(y) \eta_0$ et la pente U de la forme linéaire du rendement instantané η sont déterminés à partir des essais.

L'insertion de ces valeurs expérimentales dans l'équation (G.10) permet de déterminer une valeur de la capacité thermique effective.

Annexe H (informative)

Comparaison du modèle de capteur décrit en 6.1 par rapport au modèle de capteur décrit en 6.3

L'irradiance commence par une description du modèle actuel de capteur fixe utilisé en 6.1. Ce modèle a été largement utilisé pour les essais (ISO 9806-1 et ASHRAE 93-77) ainsi que pour la simulation. L'équation de base est un modèle fixe pour une utilisation avec un angle d'incidence quasi-normal pouvant se présenter sous la forme suivante :

$$\dot{Q} / A = F(\tau\alpha)_{\text{en}} G^* - c_1 (t_m - t_a) - c_2 (t_m - t_a)^2 \quad (\text{H.1})$$

L'irradiance est notée G^* , mais pourrait tout aussi bien être notée G_b afin d'indiquer que seuls des niveaux d'irradiance élevés sont acceptés dans la série d'essais, d'où une fraction diffuse peu élevée. Les conditions de régime non fixe ne faisant l'objet d'aucune correction, des conditions d'entrée et de rayonnement très stables sont requises pour chaque point d'essai.

Il est de plus supposé que l'angle d'incidence est quasi-normal, de sorte que les effets de ce dernier peuvent être négligés.

Le paragraphe 6.1 décrit par ailleurs des modes opératoires facultatifs également pour la détermination de l'effet de l'angle d'incidence et de la capacité thermique effective du capteur sur le rendement optique. L'équation instantanée complète issue de toutes les options décrites en 6.1 peut donc s'écrire comme suit :

$$\dot{Q} / A = F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta b}(\theta) G^* - c_1 (t_m - t_a) - c_2 (t_m - t_a)^2 - c_5 dt_m/dt \quad (\text{H.2})$$

En première étape de la méthode décrite en 6.3, le premier terme de l'équation est divisé en deux parties pour indiquer les rendements optiques pour le rayonnement solaire direct et pour le rayonnement diffus ; $F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta b}(\theta) G^*$ est donc divisé en $F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta b}(\theta) G_b + F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta d} G_d$, les autres termes de l'équation demeurant inchangés.

Afin de pouvoir soumettre à l'essai une plus large gamme de capteurs solaires, mais également afin d'obtenir une caractérisation plus complète du capteur à partir du même essai et avec la même méthode, une autre correction est ajoutée au modèle de capteur, à savoir la correction de l'effet du vent. Pour les capteurs vitrés, la méthode décrite en 6.1 restreint les exigences d'essai relatives à la vitesse du vent à une vitesse comprise entre 2 m/s et 4 m/s. La sensibilité des capteurs sans vitrage à la vitesse du vent a entraîné la nécessité d'une méthode d'essai (6.2) spécifique, qui exige pour chaque capteur la mesure de trois fonctions de rendement différentes à trois vitesses de vent données. Cette situation rend les essais de chaque capteur coûteux et longs. Il peut également être difficile de réaliser ces essais à l'extérieur pour des sites d'essai dont les climats varient.

Avec cette méthode, la modélisation de l'effet du vent ajoute deux termes à l'équation de base. L'un des termes indique l'effet sur le rendement optique ($- c_6 u G^*$), tandis que l'autre terme indique l'effet sur les pertes thermiques ($- c_3 u (t_m - t_a)$). Après ajout final de l'effets des pertes thermiques sur l'irradiance de grandes longueurs d'onde ($+ c_4 (E_L - \sigma T_a^4)$), modélisé de la même façon que pour les capteurs sans vitrage (voir Annexe F), le modèle de capteur est complété et rédigé de la manière indiquée dans l'équation 7. Cette dernière donne la puissance de sortie du capteur par mètre carré de superficie de référence utilisée.

Annexe I (informative)

Propriétés de l'eau (voir DIN V 4757-4:1995-11)

I.1 Densité de l'eau (à 1 bar) en kg/m³

$$\rho(\vartheta) = a_0 + a_1\vartheta + a_2\vartheta^2 + a_3\vartheta^3 + a_4\vartheta^4$$

$$(0 \leq \vartheta \leq 99,5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

avec

$$a_0 = 99,85$$

$$a_1 = 6,187 \cdot 10^{-2}$$

$$a_2 = -7,654 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = 3,974 \cdot 10^{-5}$$

$$a_4 = -1,110 \cdot 10^{-7}$$

La déviation du polynôme aux valeurs publiées dans les tableaux est toujours inférieure à 0,02 %. R² est égal à 0,99998.

I.2 Capacité thermique massique de l'eau (à 1 bar) en kJ/(kg K)

$$c_p(\vartheta) = a_0 + a_1\vartheta + a_2\vartheta^2 + a_3\vartheta^3 + a_4\vartheta^4 + a_5\vartheta^5$$

$$(0 \leq \vartheta \leq 99,5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

avec

$$a_0 = 4,217$$

$$a_1 = -3,358 \cdot 10^{-3}$$

$$a_2 = 1,089 \cdot 10^{-4}$$

$$a_3 = -1,675 \cdot 10^{-6}$$

$$a_4 = 1,309 \cdot 10^{-8}$$

$$a_5 = -3,884 \cdot 10^{-11}$$

La déviation du polynôme aux valeurs publiées dans les tableaux est toujours inférieure à 0,02 %. R^2 est égal à 0,9994.

Annexe J (informative)

Résumé du rapport d'essai de performance pour la méthode d'essai quasi-dynamique

Identification :

Fabricant

Marque commerciale :

Numéro de série :

Type de capteur :

Plan n° :

Dimensions du capteur :

Longueur : mm

Aire de l'absorbeur : m²

Largeur : mm

Superficie d'entrée : m²

Hauteur : mm

Superficie hors-tout : m²
Spécifications d'ordre général

Poids : kg

Fluide caloporteur

Plage de débit : à l/h

Pression de service : bar

Température de stagnation à 1 000 Wm⁻²

et à une température ambiante de 30 °C °C

Performances thermiques fondées sur :
Superficie d'entrée :
Aire de l'absorbeur :

	Valeur	Écart-type		Valeur	Écart-type
$F(\tau\alpha)_{en}$			$F(\tau\alpha)_{en}$		
$K_{\theta d}$			$K_{\theta d}$		
b_0			b_0		
c_1			c_1		
c_2			c_2		
c_3			c_3		
c_4			c_4		
c_5			c_5		
c_6			c_6		

Tableau J.1 — Facteur d'angle d'incidence, $K_{\theta b}(\theta)$

θ	10	20	30	40	50	60	70	80
$K_{\theta b}(\theta)$								

Il convient de compléter le présent rapport d'essai conjointement au rapport d'essai selon l'Annexe D ou E.

Essai effectué par :

Date :

Annexe K (informative)

Recommandations générales pour l'évaluation de l'incertitude des essais de rendement du capteur solaire

K.1 Introduction

La présente annexe vise à fournir des recommandations générales pour l'évaluation de l'incertitude résultant des essais du capteur solaire réalisés conformément à la présente norme. Des laboratoires d'essai sont souvent invités à présenter une déclaration d'incertitude pour les résultats d'essai quantitatifs, dans le cadre de leur accréditation ou de l'application de plans d'accréditation du produit. La présente annexe ne vise pas à définir dans quel cas et si le calcul d'incertitude dans les résultats d'essai est nécessaire.

Ces recommandations sont applicables seulement dans les essais de rendement du capteur dus à i) l'importance majeure du résultat de cet essai pour l'utilisateur, et ii) la singularité des calculs, étant donné que le résultat final d'essai de rendement ne se déduit pas au moyen d'une mesure unique mais par l'élaboration d'un grand nombre de mesures primaires.

Il convient de noter que la méthodologie proposée est une des approches possibles pour l'évaluation d'incertitude, et d'autres approches peuvent s'appliquer. L'une des responsabilités pour chaque laboratoire est de choisir et de mettre en œuvre une approche scientifiquement valable pour la détermination d'incertitudes, conforme aux recommandations d'établissements d'accréditation, le cas échéant. Pour un examen plus détaillé des différents aspects de la détermination des incertitudes dans les essais avec le capteur solaire, voir également (Mathioulakis *et al.*, 1999; Sabatelli *et al.*, 2002; Müller-Schöll et Frei, 2000).

K.2 Les incertitudes de mesure dans les essais de rendement réalisés avec un capteur solaire

La cible de base des essais de rendement réalisés avec un capteur solaire est la détermination du rendement du capteur par les mesures dans des conditions spécifiques. Plus spécifiquement, on suppose que le comportement du capteur peut être décrit par un modèle à paramètre unique M , à l'état stationnaire ou quasi-dynamique :

$$\eta = c_1 p_1 + c_2 p_2 + \dots + c_M p_M \quad (\text{K.1})$$

où

η est le rendement instantané du capteur ;

$p_1, p_2, \dots, p_M$ sont des quantités, dont les valeurs sont déterminées expérimentalement par le biais des essais ;

$c_1, c_2, \dots, c_M$ sont des constantes caractéristiques du capteur qui sont déterminées au travers des essais.

Dans le cas de modèle d'état stationnaire, par exemple, $M = 3$, $c_1 = \eta_0$, $c_2 = U_1$, $c_3 = U_2$, $p_1 = 1$, $p_2 = (T_m - T_a)/G$ et $p_3 = (T_m - T_a)^2/G$.

Lors de la phase expérimentale, la puissance, l'énergie solaire et les quantités climatiques de base sont mesurés en points d'état stationnaire ou quasi-dynamique J , selon le modèle utilisé. A partir de ces mesures

primaires, les valeurs des paramètres $\eta, p_1, p_2, \dots, p_M$ sont dérivées pour chaque point d'observation j , $j = 1 \dots J$. En général, le procédé expérimental de l'essai mène à la formation d'un groupe d'observations J , comprenant pour chacun des points d'essai J , les valeurs de $\eta_j, p_{1,j}, p_{2,j}, \dots, p_{M,j}$.

Pour la détermination des incertitudes, il est nécessaire de calculer les incertitudes types combinées respectives $u(\eta_j), u(p_{1,j}), \dots, u(p_{M,j})$ pour chaque point d'observation. Il convient de noter que dans la pratique les incertitudes $u(\eta_j), u(p_{1,j}), \dots, u(p_{M,j})$ ne sont presque jamais constantes et identiques pour tous les points, mais que chaque point d'essai a son propre écart-type.

Pour le calcul de l'écart-type (incertitude type au carré) à chaque point j , les règles générales suivantes peuvent s'appliquer (ISO GUM:1995) :

- I) Les incertitudes d'étalonnage dans les données expérimentales sont déterminées en prenant en compte les incertitudes Type A et Type B. Selon les recommandations de l'ISO GUM, le Type A correspond aux incertitudes déterminées par des moyennes statistiques alors que le Type B est déterminé grâce à d'autres moyennes ;
- II) L'incertitude $u(s)$ associée à une mesure s est le résultat d'une combinaison de l'incertitude Type B $u_B(s)$, caractéristique de la configuration, et de l'incertitude Type A $u_A(s)$, qui représente la fluctuation durant l'échantillonnage de données. S'il existe plus d'une source indépendante d'incertitude u_k (Type A ou Type B), l'incertitude finale se calcule selon la loi générale de la combinaison des incertitudes :

$$u = \left(\sum_k u_k^2 \right)^{1/2} \quad (\text{K.2})$$

- III) L'incertitude Type ? $u_B(s)$ provient de la combinaison d'incertitudes sur l'intégralité de la série de mesure, en prenant en compte toutes les données disponibles, telles que l'incertitude de sonde, l'incertitude de système d'acquisition de données, l'incertitude résultant des éventuelles différences entre les valeurs de mesurande perçues par les dispositifs de mesurage. Il convient d'obtenir des informations pertinentes des certificats d'étalonnage ou autres données techniques liées aux dispositifs utilisés ;
- IV) Les incertitudes Type A dépendent intrinsèquement des conditions spécifiques de mesure et elles représentent les fluctuations dans les grandeurs mesurées durant le mesurage. L'incertitude Type A $u_A(s)$ provient de l'analyse statistique des données expérimentales. Dans certains cas, (par exemple dans le cas d'un modèle d'état stationnaire), la meilleure évaluation de S est la moyenne arithmétique s des observations répétées s_i ($i = 1 \dots I$) et son incertitude Type A est l'écart-type de la moyenne :

$$s = \frac{\sum_{i=1}^I s_i}{I}, \text{ et } u_A(s) = \left(\frac{\sum_{i=1}^I (s_i - s)^2}{I(I-1)} \right)^{1/2} \quad (\text{K.3})$$

Dans d'autres cas, (par exemple dans le cas d'un modèle quasi-dynamique où aucune moyenne arithmétique des mesures répétitives n'est utilisée) l'incertitude $u_A(s)$ peut être égale à zéro.

- I) Le terme *incertitude type composé* signifie l'incertitude type dans un résultat lorsque ce résultat est obtenu à partir des valeurs d'un nombre d'autres grandeurs. Dans la plupart des cas, un mesurande Y détermine indirectement à partir de P et d'autres grandeurs mesurées directement $X_1, X_2, \dots, X_P$ par le biais d'une relation fonctionnelle $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_P)$. L'incertitude type dans l'évaluation y est donnée par la *loi de propagation des incertitudes* :

$$u(y) = \left(\sum_{i=1}^P \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 (u(x_i))^2 + 2 \sum_{i=1}^{P-1} \sum_{j=i+1}^P \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \text{cov}(x_i, x_j) \right)^{1/2} \quad (\text{K.4})$$

L'exemple d'une détermination indirecte dans le cas d'un essai de rendement sur capteur solaire est la détermination du rendement instantané η , qui provient des valeurs d'irradiance solaire globale dans le capteur de niveau G , débit massique du fluide m , différence de température ΔT , superficie du capteur S et fluide caloporteur spécifique c_f . Ainsi, dans ce cas, l'incertitude type $u(\eta_j)$ dans chaque valeur η_j de rendement instantané est calculée par la combinaison d'incertitudes d'étalonnage dans les valeurs des quantités mesurées primaires, prenant en compte leur relation à la grandeur dérivée η .

K.3 Accessoires et incertitudes dans les résultats d'essai de rendement

Durant l'analyse des données, un accessoire des moindres carrés de l'équation modèle est réalisé, afin de déterminer les valeurs des coefficients $c_1, c_2, \dots, c_M$ pour lesquels le modèle de l'équation (K.1) représente la série d'observations J avec la plus grande exactitude.

Etant donné que dans la pratique, l'écart-type n'est presque jamais constant et identique pour toutes les observations, mais que chaque point de donnée $(\eta_j, p_{1,j}, p_{2,j}, \dots, p_{M,j})$ a son propre écart-type σ_j , il est intéressant d'utiliser la méthode des **moindres carrés pondérés (WLS)**, qui calcule, sur la base des valeurs mesurées et de leurs incertitudes, non seulement les paramètres modèles mais aussi leur incertitude. Dans le cas de la méthode des moindres carrés pondérés, l'évaluation maximale vraisemblable des paramètres de modèle est obtenue par la réduction de la fonction de X^2 :

$$X^2 = \sum_{j=1}^J \frac{(\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots + c_M p_{M,j}))^2}{u_j^2} \quad (\text{K.5})$$

où u_j^2 est la variance de la différence $\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots + c_M p_{M,j})$:

$$u_j^2 = \text{Var}(\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots + c_M p_{M,j})) = (u(\eta_j))^2 + c_1^2 (u(p_{1,j}))^2 + \dots + c_M^2 (u(p_{M,j}))^2 \quad (\text{K.6})$$

Trouver les coefficients $c_1, c_2, \dots, c_M$ et leurs incertitudes d'étalonnage en réduisant le plus possible la fonction de X^2 est compliqué, étant donné la non-linéarité présente dans l'équation (K.5). Il faut donc trouver une stratégie pour trouver par les chiffres des incertitudes. Dans le cas d'un modèle de paramètre M , une méthode est présentée ci-après (Press *et al.*, 1996).

Si K est une matrice dont les composants $J \times M$ ($k_{j,m}$) sont construits à partir des fonctions de base M évaluées aux valeurs expérimentales J de $p_1, \dots, p_M$ pondérées par l'incertitude u_j :

$$k_{j,m} = \frac{p_{m,j}}{u_j}, \quad K = \begin{vmatrix} \frac{p_{1,1}}{u_1} & \dots & \frac{p_{1,M}}{u_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{p_{1,J}}{u_J} & \dots & \frac{p_{M,J}}{u_J} \end{vmatrix} \quad (\text{K.7})$$

Si, de la même manière, L est un vecteur de longueur J dont les éléments l_j sont construits à partir des valeurs de η_j pour être adaptés, pondéré par l'incertitude u_j :

$$l_j = \frac{\eta_j}{u_j}, \quad L = \begin{bmatrix} \eta_1/u_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_J/u_J \end{bmatrix} \quad (K.8)$$

L'équation normale du problème des moindres carrés peut être écrite :

$$(K_T \bullet K) \bullet \text{INV}(C) = K_T \bullet L \quad (K.9)$$

où C est un vecteur dont les éléments sont les coefficients ajustés.

Etant donné que pour le calcul des variances u_j^2 la connaissance des coefficients $c_1, c_2, \dots, c_M$ est nécessaire, une solution possible est d'utiliser les valeurs des coefficients calculées par lissés des moindres carrés types comme valeurs initiales. Ces valeurs initiales peuvent être utilisées dans l'équation (K.6) pour le calcul de u_j^2 , $J = 1 \dots J$ et la formation de la matrice K et du vecteur L .

La solution de l'équation (K.9) donne les nouvelles valeurs des coefficients $c_1, c_2, \dots, c_M$, qui cependant ne sont pas censées être notablement différentes de celles calculées par lissés des moindres carrés types et sont utilisées comme valeurs initiales pour le calcul de u_j^2 .

De plus, $Z = \text{INV}(K_T \bullet K)$ est une matrice dont les éléments diagonaux $z_{k,k}$ sont les incertitudes carrées (variances) et les éléments non-diagonaux $z_{k,l} = z_{l,k}$, $k \neq l$ sont la covariance entre les coefficients ajustés :

$$u(c_m) = \sqrt{z_{m,m}}, \quad m=1, \dots, M \quad (K.10)$$

$$\text{Cov}(c_k, c_l) = z_{k,l} = z_{l,k}, \quad k=1, \dots, M \text{ and } l=1, \dots, M \text{ and } k \neq l \quad (K.11)$$

Il convient de noter que la connaissance de covariance entre les coefficients lissés est nécessaire si l'on veut calculer, dans une étape ultérieure, l'incertitude $u(\eta)$ dans les valeurs prédites de η utilisant les équations (K.1) et (K.4).

L'équation (K.9) peut être résolue par une méthode numérique d'étalonnage, par exemple, par l'élimination de Gauss-Jordan. Il est également possible d'utiliser les fonctions de manipulations de matrice de logiciel de feuilles d'analyse communément utilisés.

Annexe L (informative)

Détermination de la perte de charge au niveau du capteur

L.1 Généralités

La perte de charge dans un capteur peut avoir une certaine importance pour les concepteurs des capteurs solaires. Le fluide d'essai utilisé par le capteur doit être de l'eau ou un mélange eau-glycol (60:40), voire un mélange recommandé par le fabricant.

La température du fluide doit être de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

L.2 Installation d'essai

Le capteur doit être monté conformément à 6.1.1 et raccordé à une boucle d'essai conforme (dans une large mesure) à 6.1.3, bien que l'instrumentation requise pour déterminer la perte de charge soit plus réduite que pour déterminer le rendement du capteur.

Le fluide caloporteur doit s'écouler de la partie inférieure vers la partie supérieure du capteur, et il convient d'accorder une attention toute particulière au choix des raccords de tuyau appropriés au niveau des orifices d'entrée et de sortie du capteur, comme spécifié en 6.1.3.3. Dans le cas de capteurs sans vitrage, la direction du débit de fluide peut être recommandée par le fabricant.

L.3 Conditionnement préalable du capteur

Le fluide doit faire l'objet d'un examen visant à s'assurer de sa pureté.

L'air contenu dans le capteur doit être évacué au moyen d'une soupape de purge ou autre moyen approprié, tel que l'augmentation du débit du fluide pendant une courte période pour chasser effectivement l'air du capteur.

L.4 Mode opératoire

a) Capteurs solaires avec vitrage

Déterminer la perte de charge entre les raccords d'entrée et de sortie du capteur pour les débits compris dans la plage susceptible d'être utilisée en fonctionnement réel. En l'absence de recommandations spécifiques du fabricant concernant le débit, effectuer les mesurages de la perte de charge dans la plage de débits comprise entre $0,005 \text{ kgs}^{-1}$ et $0,03 \text{ kgs}^{-1}$ par mètre carré de superficie du capteur. Il convient également de prendre en considération l'origine du diagramme de perte de charge, à savoir le point (0,0).

Effectuer au moins cinq mesurages à des valeurs également réparties sur la plage de débits.

b) Capteurs solaires sans vitrage

La perte de charge entre les raccords d'entrée et de sortie du capteur doit être déterminée avec le capteur et son fluide à une température proche de la température de l'air ambiant, et pour des débits s'inscrivant dans la plage susceptible d'être utilisée dans l'application à laquelle le capteur est destiné.

Étant donné que la disposition des bandes et des collecteurs utilisés pour l'essai diffère généralement des installations types, la perte de charge au niveau d'un bande et des collecteurs doit être déterminée séparément. Ceci peut être réalisé en procédant à deux mesurages consécutifs de la perte de charge au niveau d'un bande absorbeur de petite dimension muni de collecteurs (au moins 3 m) et d'un bande absorbeur de grande dimension également muni de collecteurs (par exemple 15 m).

La différence des deux courbes de perte de charge peut alors être divisée par la différence de longueur de bandes entre les deux absorbeurs. La courbe ainsi obtenue est la perte de charge non perturbée par mètre de bande.

Il convient de réaliser l'essai à une pression constante qui correspond à la pression de service prévue.

En l'absence de recommandations spécifiques du fabricant concernant le débit, les mesures de la perte de charge doivent être effectuées dans la plage de débits comprise entre $0,02 \text{ kgs}^{-1}$ et $0,1 \text{ kgs}^{-1}$ par mètre carré de superficie du capteur.

Au moins cinq mesurages doivent être effectués à des valeurs également réparties sur la plage de débits. Le niveau zéro doit également être vérifié.

L.5 Mesures

Les données suivantes doivent être mesurées conformément à 6.1.2 :

- a) la température du fluide à l'entrée du capteur ;
- b) le débit du fluide ;
- c) la perte de charge du fluide caloporteur entre les raccords d'entrée et de sortie du capteur.

La perte de charge du fluide caloporteur au niveau du capteur doit être mesurée à l'aide d'un dispositif d'une incertitude type de 5 % par rapport à la valeur mesurée ou de $\pm 10 \text{ Pa}$, selon la plus grande des deux valeurs.

L.6 Perte de chaleur due aux accessoires

Les accessoires utilisés pour mesurer la pression du fluide peuvent eux-mêmes entraîner une perte de charge. Pour vérifier l'absence de toute perte, retirer le capteur de la boucle de fluide et répéter les essais en reliant directement les accessoires de mesure de la pression. La perte de charge due aux accessoires doit être utilisée pour corriger la perte de charge mesurée du capteur.

L.7 Conditions d'essai

Le débit du fluide doit être maintenu constant à $\pm 1 \%$ de la valeur nominale au cours des mesures d'essai.

La température d'entrée du fluide caloporteur doit être maintenue constante à $\pm 5 \text{ K}$ (± 1 pour les capteurs sans vitrage) près lors des mesures d'essai. L'essai doit être effectué avec le capteur à une température proche de celle de l'air environnant à $\pm 10 \text{ K}$ près. Les essais de perte de charge effectués à d'autres températures peuvent être importants pour les fluides caloporteurs à base d'huile.

L.8 Calcul et présentation des résultats

La perte de charge doit être représentée sous forme de graphique en fonction du débit de fluide pour chaque essai réalisé, en utilisant les feuilles de données de l'Annexe D (capteurs avec vitrage) ou de l'Annexe E (capteurs sans vitrage).

Bibliographie

- [1] ISO 9845-1:1992, *Énergie solaire - Rayonnement solaire spectral de référence au sol sous-différentes conditions de réception - Partie 1 : Rayonnement solaire direct normal et hémisphérique pur une masse d'air de 1,5.*
- [2] ISO 9459-1:1993, *Chauffage solaire - Systèmes de chauffage de l'eau sanitaire - Partie 1 : Méthodes d'essai à l'intérieur pour l'évaluation des performances.*
- [3] ISO 9459-2:1995, *Chauffage solaire - Systèmes de chauffage de l'eau sanitaire - Partie 2 : Méthode d'essai en extérieur pour la caractérisation de la performance des systèmes «tout solaire» et la prédiction de leur performance annuelle.*
- [4] ISO 5167-1:2003, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire - Partie 1 : Principes généraux et exigences générales.*
- [5] ISO GUM:1995, Guide to the expression of uncertainty in measurements, ISO ed., Switzerland.
- [6] AFNOR P 50 -51, 1980, Liquid Circulation Solar Collectors Determination of Thermal Performance.
- [7] ASHRAE 41 -7, Standard Measurements Guide American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, March 1974.
- [8] ASHRAE 93 - 86 , Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 345 East 47th Street, New York, 1978.
- [9] ASHRAE, Handbook of Applications, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1791 Tullie Circle N.E., Atlanta, GA 30329, 1978.
- [10] ASTM E 424 - 71, Standard methods of test for solar energy transmittance and reflectance (terrestrial) of sheet materials.
- [11] ASTM E-892, Terrestrial Solar Spectral Irradiance Tables at Air Mass 1.5 for a 37° Tilted Surface.
- [12] ASME, Instruments and Apparatus, Part 2, Pressure Measurement, Supplement to the ASME Power Test Codes, American Society of Mechanical Engineers, 345 East 47th Street, New York 10017, July 1964.
- [13] BS 6757, Methods of Test for the Thermal Performance of Solar Collectors.
- [14] Benedict, R.P. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements, Wiley, New York, 1969.
- [15] Bernier, M.A., Correcting for Header Heat Losses when Testing Solar Collectors, Proceedings Intersol 85, ISES Congress, June 1985.
- [16] Bliss, R.W., The Derivation of Several 'Plate - EfficiencyFactors' Useful in the Design of Flat - Plate Solar Heat Collectors, Solar Energy, Vol. 3, No. 4, p. 55, 1959.
- [17] Chinnery, D.N.W., Solar Water Heating in South Africa, Bulletin No. 44 (Report no. 248), National Building Research Institute, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa, 1971.
- [18] Coulson, K.L., Solar and Terrestrial Radiation, Methods and Measurements, Academic Press, New York, 1975.

- [19] Duffie, J.A., and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, New York, 1991.
- [20] Faison, T.K., Davis, J.C., Achenback, P.R., Performance of Louvered Devices as Air Mixers, NBS Building Science Series 27, March 1970. (Available from the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20401, SD Catalog No. C13.29/2:27).
- [21] Gillett, W.B., Moon, J.E., Solar Collectors - Test Methods and Design Guidelines, Reidel, Dordrecht, 1985.
- [22] Green, A.A., Gillett, W.B., The significance of longwave radiation on flat plate collector testing, Proc. IEE Conf. Future Energy Concepts, London, 1979.
- [23] Harrison, S.J., The effects of Irradiance Level on Thermal Performance Tests of Solar Collectors, Proceedings Intersol 85, ISES Congress, June 1985.
- [24] Hill, J.E., Jenkins, J.P., Jones, D.E., Testing of Solar Collectors According to ASHRAE Standard 93 - 77, ASHRAE Transactions, Vol. 84, Part II, 1978.
- [25] Hill, J.E., Streed, E.R., Testing and Rating of Solar Collectors, Chapter X in 'Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings', ASHRAE GRP 170, ASHRAE, New York, 1977.
- [26] Hill, J.E., Streed, E.R., Kelly, G.E., Geist, J.C., Kusuda, T., Development of Proposed Standards for Testing Solar Collectors and Thermal Storage Devices, NBS Technical Note 899, National Bureau of Standards, Washington, D.C. 20234, February 1976.
- [27] Hill, J.E., Wood, B.P., Reed, K.A., Testing Solar Collectors, Adv. Solar Energy, 1985.
- [28] Hottel, H.C., Woertz, B.B., The Performance of Flat Plate Solar Heat Collectors, ASME Trans., 64, 91, 1942.
- [29] Instruments for Climatological Observations, Circular B, United States Weather Bureau Service, 11th Edition, January, 1962.
- [30] Mather, G.R. Jr., Beekley D.C. Performance of an Evacuated Tubular Collector using Non-Imaging Reflectors, Proceedings of Storing the Sun Conference, Vol. 2, 1976.
- [31] Mather, G.R. Jr., ASHRAE 93 - 77 Instantaneous and All-day Testing of the Sunpak Evacuated Tube Collector, ASME JSEE, 102, 1980.
- [32] Mathioulakis E., Voropoulos ?., and Belessiotis V., *Assessment of uncertainty in solar collector modeling and testing*, Solar Energy, Vol. 66(5), 1999, pp. 337-347.
- [33] Mathioulakis, K. Voropoulos and V. Belessiotis, Uncertainty in solar collector modeling and testing, Proceedings of ISES Solar World Congress, Jerusalem, June 1999.
- [34] Müller-Schöll, C and Frei, U., Uncertainty Analyses in Solar Collector Measurement, Proceedings of Eurosun 2000, Copenhagen.
- [35] Newton, A.B., Gilman, S.H., Solar Collection Performance Manual, ASHRAE SP32 (ISBN 0-910110-04-2).
- [36] Oliphant, M.V., Measurement of Wind Speed Distributions across a Solar Collector, Solar Energy, 24, 403, 1980.
- [37] Press W., Teukolsky S.A., Vetterling W.T. and Flannery B.P., *Numerical recipes*, 2nd edn., Cambridge University Press, Oxford, 1996.
- [38] Proctor, D.A., Generalised Method for Testing all Classes of Solar Collectors. Part I Attainable Accuracy, Solar Energy, 32, 377 - 386, 1984.

- [39] Proctor, D.A., Generalised Method for Testing all Classes of Solar Collectors. Part II Equation of Collector Thermal Constants, Solar Energy, 32, 387 - 394, 1984.
- [40] Proctor, D.A., Generalised Method for Testing all Classes of Solar Collectors. Part III Linearised Efficiency Expressions, Solar Energy, 32, 395 - 399, 1984.
- [41] Proctor, D., Solar Simulator Design and Collector Testing, Proceedings Workshop on Solar Simulators organised by IEA and European Commission, Ispra, Italy, 9-11 Feb. 1982, pp. 66-69, 150-151, 191-192.
- [42] Proctor, D., Czarnecki, T.C., The Effect of Aging on a 22 year old Solar Water Heater, Solar Energy, 35, 175, 1985.
- [43] Proctor, D. The Design of a Meter to Measure the Mass Flow - Specific Heat Product of a Heat Transfer Fluid, ASME Journal of Solar Engineering, 108, 177, 1986.
- [44] Proctor, D., Daily Thermal Characteristics for Some Evacuated - Tubular Solar Collectors, Solar Energy, 33, 451, 1985.
- [45] Proctor, D., James, S.R., Analysis of the Sanyo Evacuated Solar Collector, Results from the IEA Task III Programme, Solar Energy, 35, 387, 1985.
- [46] Putman, W.J., Evans, D.L., Wood, B.D., The Effect of Different Sky Conditions on the Optical Performance of Flat - Plate and Stationary Concentrating Collectors, DSET Report 82 - 1201S, SER1 Subcontract XX - 1 - 1178 - 1, December 1982. Also Proceedings of the ASME Solar Energy Division Sixth Annual Conference, April 1984. pp. 209-219.
- [47] Sabatelli V., Marano D., Braccio G. and Sharma V. K., Efficiency test of solar collectors: uncertainty in the estimation of regression parameters and sensitivity analysis, Energy Conversion and Management, Vol. 43(17), 2002, pp. 2287-2295.
- [48] Souka, A.F., Safwat, H.H., Optimum Orientations for the Double Exposure, Flat Plate Collector and its Reflectors, Solar Energy, 10, 1966.
- [49] Watmuff, J.H., Charters, W.W.S., Proctor, D., Solar and Wind Induced External Coefficients- Solar Collectors, COMPLES Int. Revue d'Heliotechnique 2' Semestre 1977, p. 56.
- [50] Whillier, A., Prediction of Performance of Solar Collectors, Chapter VII of Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings, ASHRAE GRP 170, ASHRAE, New York, 1977.
- [51] Wood, B.D., Fiore, P., Cristopherson, C.R., Application of ASHRAE 93 - 77 for Testing Concentrating Collectors for the Purpose of Predicting All-day Performance, Proceedings ISES Congress, May 1979.
- [52] Albrecht, H., Auswertung von Leistungsmessungen an sechs hocheffizienten Sonnenflachkollektoren, Diplomarbeit, ausgeführt am ITW, Universität Stuttgart (1991), Matr.-Nr.: 1297676 (Evaluation of thermal performance measurements on 6 high efficient solar collectors; including comparison between steady-state and fully dynamic measurement parameters).
- [53] H.E.B. Andersson. Solfångares tidskonstanter. En teoretisk genomgång. (The Time Constant of Solar Collectors. A Theoretical Investigation. Swedish National Testing and Research Institute, SP-C 1979:12. Borås Sweden (1979).
- [54] V.G. Chant, R. Håkansson. The MINSUN Simulation and Optimisation Program. Application and Users Guide. IEA SH&C Task VII, Ottawa September 1985 (1985).
- [55] W.S. Duff et. al. Experimental Results from Eleven Evacuated Collector Installations. IEA SH&C Task VI. Document IEA-SHAC-TVI-4. (1988).

- [56] W. L. Gemmel, M. Chandrashekar, K. H. Vanoli, Detailed Modelling of Evacuated Collector Systems, IEA SH&C Task VI (1986).
- [57] K. Grandin. Angular Resolved Absorptance of an Absorber Surface and Angular Resolved Transmittance of a Structured Cover Glazing. Uppsala University. UPTEC 92107R (1992).
- [58] O. Guisan, A. Mermoud, B. Lachal, O. Rudaz, Characterisation of Evacuated Collectors, Arrays and Collection Subsystems. IEA SH&C Task VI (1986).
- [59] P. Isakson, The PFC-model. A Plug flow Solar Collector Model for TRNSYS. Nordic Solar Energy R&D Meeting . June 19-20 1991. Borlänge Sweden (1991).
- [60] W. Spirkel, Dynamische Vermessung von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung. (Dynamic testing of Solar Domestic Hotwater Systems). Dipl.-Phys. Thesis. VDI Verlag, Reihe 6: Energieerzeugung, Nr 241, München (1990).
- [61] J. Mushawek and W. Spirkel. Dynamic Solar Collector Performance Testing. Solar Energy Materials and Solar Cells. 30 (1993) 95-105 North Holland.
- [62] M. Guigas, R. Kübler, N. Fisch, Untersuchung von hocheffizienten Flachkollektoren mit Hilfe einer instationären Testmethode. (Evaluation of High Performance Flat Plate Collectors with a Dynamic Test Method). Proc. Erstes Symposium Thermische Solarenergie, 1991, Kloster Banz, pp. 290-295 (1991).
- [63] T. Pauschinger. Procedure for Testing Solar Collectors under Non Stationary Conditions. ITW Universität Stuttgart, (1994).
- [64] B. Perers. An improved Dynamic Solar Collector Test Method for Determination of Non Linear Optical and Thermal Characteristics with Multiple Regression. Journal of the Int. Solar Energy Society, vol. 59, No. 4-6, pp. 163 -178, 1997.
- [65] B. Perers. Data Requirement Specification for IEA SH&C Task 14 Subtask DCST Collector Testing Group. Vattenfall Utveckling. (1993).
- [66] B. Perers, Dynamic Method for Solar Collector Array Testing and Evaluation with Standard Database and Simulation Programmes. Journal of the Int. Solar Energy Society Vol. 50, No. 6, pp. 517-526, (1993).
- [67] B. Perers, B. Karlsson, P. Kovacs. Short Term Dynamic Testing and Longterm Collector Performance Prediction using Standard Spreadsheet and Simulation Programmes. ISES Conference, Budapest, (1993).
- [68] B. Perers, B. Karlsson, External Reflectors for Large Solar Collector Arrays, Simulation Model and Experimental Results. Journal of the Int. Solar Energy Society Vol 51. no. 5, 327-337, (1993).
- [69] B. Perers, Linjärparaboliska solfångare för svenskt klimat. Mätning utvärdering och kostnadsanalys. (Parabolic Through Collectors for the Swedish Climate. Measurements, Evaluation and Cost Analysis). Studsvik AB Sweden. STUDSVIK/ED-90/12. (1990).
- [70] B. Perers, P. Holst, The Södertörn Solar District Heating Test Plant. Results 1982-1985, Studsvik AB, Sweden. (STUDSVIK-87/1) (1987).
- [71] B. Perers. Performance Testing of Unglazed Collectors. Wind and Long wave Radiation Influence. Paper Presented to IEA SH&C Task III. Studsvik (1987).
- [72] B. Perers. Influence of Variations in Wind Speed and Long Wave Radiation on the Performance of Solar Collectors. Paper Presented to IEA SH&C Task 14. Vattenfall Utveckling AB. (1994).
- [73] G. Rockendorf, T. Barkmann. Comparison of Collector Parameters from an In stationary and a Steady State Collector Test. ISFH Haameln/Emmerthal. (1994).

- [74] WMO, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 5th edn., WMO-8, Secretariat to the World Meteorological Organization, Geneva, 1983, Chapter 9.
- [75] ISO 9806-1, *Méthodes d'essai des capteurs solaires - Partie 1 : Performance thermique des capteurs vitrés à liquide, chute de pression incluse.*
- [76] ISO 9806-2, *Méthodes d'essai des capteurs solaires - Partie 2 : Méthodes d'essai de qualification.*
- [77] ISO 9806-3: 1995, *Méthodes d'essai des capteurs solaires - Partie 3 : Performance thermique des capteurs non vitrés à liquide (transfert de chaleur appréciable seulement), chute de pression incluse.*
- [78] ISO 9846, *Énergie solaire - Étalonnage d'un pyranomètre utilisant un pyréliomètre.*
- [79] ISO 9847, *Énergie solaire - Étalonnage des pyranomètres de terrain par comparaison à un pyranomètre de référence.*
- [80] ISO/TR 9901, *Énergie solaire - Pyranomètres de champ - Pratique recommandée pour l'emploi.*
- [81] ISO 9808, *Chauffe-eau solaires - Matériaux en élastomères pour absorbeurs, raccords et tuyaux - Méthode d'évaluation.*
- [82] ISO 9553, *Énergie solaire - Méthodes d'essai des joints préformés en caoutchouc et des composés pour l'étanchéité utilisés dans les capteurs (DIS distribué en version anglaise seulement).*