

---

---

**Énergie solaire — Composants et  
matériaux du collecteur —**

**Partie 1:  
Tubes sous vide — Durabilité et  
performance**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Solar energy — Collector components and materials —  
Part 1: Evacuated tubes — Durability and performance*  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 22975-1:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016>



**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 22975-1:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401  
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland  
Tel. +41 22 749 01 11  
Fax +41 22 749 09 47  
copyright@iso.org  
www.iso.org

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Classification et liste d'essai</b> .....	<b>2</b>
<b>5</b> <b>Essai du matériau</b> .....	<b>3</b>
5.1    Inspection des pierres et des larmes.....	3
5.1.1    Généralités.....	3
5.1.2    Conditions d'essai.....	3
5.1.3    Appareillage.....	3
5.1.4    Mode opératoire.....	3
5.1.5    Résultats.....	4
5.2    Inspection des rayures.....	4
5.2.1    Généralités.....	4
5.2.2    Conditions d'essai.....	4
5.2.3    Appareillage.....	4
5.2.4    Mode opératoire.....	4
5.2.5    Résultats.....	5
5.3    Essai de la transmission solaire.....	5
5.3.1    Généralités.....	5
5.3.2    Conditions d'essai et appareillage.....	5
5.3.3    Mode opératoire.....	5
5.3.4    Résultats.....	5
5.4    Essai de l'absorption solaire.....	5
5.4.1    Généralités.....	5
5.4.2    Conditions d'essai et appareillage.....	5
5.4.3    Méthode.....	6
5.4.4    Résultats.....	6
5.5    Essai de l'émission hémisphérique.....	6
5.5.1    Généralités.....	6
5.5.2    Conditions d'essai.....	6
5.5.3    Appareillage et mode opératoire.....	6
5.5.4    Résultats.....	7
<b>6</b> <b>Essai de durabilité du tube sous vide</b> .....	<b>8</b>
6.1    Performance du vide.....	8
6.1.1    Généralités.....	8
6.1.2    Conditions d'essai et appareillage.....	8
6.1.3    Mode opératoire.....	8
6.1.4    Résultats.....	8
6.2    Résistance au choc thermique.....	9
6.2.1    Généralités.....	9
6.2.2    Conditions d'essai et appareillage.....	9
6.2.3    Mode opératoire.....	9
6.2.4    Résultats.....	9
6.3    Résistance à l'impact.....	9
6.3.1    Généralités.....	9
6.3.2    Principe.....	9
6.3.3    Mode opératoire.....	9
6.3.4    Résultats.....	10
6.4    Résistance à la pression interne.....	10
6.4.1    Généralités.....	10

6.4.2	Conditions d'essai et appareillage.....	10
6.4.3	Mode opératoire.....	10
6.4.4	Résultats.....	11
<b>7</b>	<b>Essai de performance du tube sous vide.....</b>	<b>11</b>
7.1	Essais de détermination du paramètre d'exposition.....	11
7.1.1	Généralités.....	11
7.1.2	Conditions d'essai.....	11
7.1.3	Appareillage.....	11
7.1.4	Mode opératoire.....	13
7.1.5	Résultats.....	13
7.2	Essais de détermination de la somme du rayonnement solaire entraînant l'augmentation de température du tube sous vide en verre double paroi.....	13
7.2.1	Généralités.....	13
7.2.2	Conditions d'essai.....	13
7.2.3	Appareillage.....	13
7.2.4	Mode opératoire et résultats.....	14
7.3	Essais pour déterminer le coefficient moyen de perte de chaleur d'un tube sous vide en verre double paroi.....	14
7.3.1	Généralités.....	14
7.3.2	Conditions d'essai.....	15
7.3.3	Appareillage.....	15
7.3.4	Mode opératoire.....	15
7.3.5	Résultats.....	15
<b>Annexe A</b>	<b>(informative) Schémas de configuration des tubes sous vide.....</b>	<b>16</b>
<b>Annexe B</b>	<b>(normative) Rapport d'essai.....</b>	<b>18</b>
<b>Annexe C</b>	<b>(normative) Détermination de l'aire de surface externe du tube absorbeur pour les tubes sous vide en verre double paroi.....</b>	<b>25</b>
<b>Bibliographie</b>	<a href="https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016">https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016</a> .....	<b>27</b>

## Avant-propos

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

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad6d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016)

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 180, *Énergie solaire*.

L'ISO 22975 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Energie solaire — Composants et matériaux du collecteur*:

- *Partie 1: Tubes sous vide — Durabilité et performance*
- *Partie 2: Caloduc pour application thermique solaire — Durabilité et performance*
- *Partie 3: Durabilité de la surface de l'absorbeur*

Les parties suivantes sont en préparation:

- *Partie 5: Matériau d'isolation — Durabilité et performance*

## Introduction

La présente partie de l'ISO 22975 est applicable à toutes les catégories de tubes sous vide, en incluant les tubes sous vide en verre double paroi et les tubes sous vide à soudure verre/métal.

La présente partie de l'ISO 22975 fournit les méthodes d'essai pour l'inspection des pierres et des larmes dans les tubes- enveloppe en verre.

La présente partie de l'ISO 22975 fournit également les méthodes d'essai pour déterminer la durabilité des tubes sous vide, en incluant la performance du vide, la résistance au choc thermique, la résistance à l'impact extérieur et la résistance à la pression interne. Pour chaque essai de durabilité, la présente partie de l'ISO 22975 spécifie les généralités, l'appareillage, le mode opératoire et les résultats de l'essai.

La présente partie de l'ISO 22975 fournit également les méthodes d'essai pour mesurer les performances des tubes sous vide, en incluant les paramètres d'exposition, le rayonnement solaire entraînant l'augmentation de la température du tube sous vide en verre double paroi et le coefficient moyen de perte de chaleur. Pour chaque essai de performance, le principe, les conditions d'essai, l'appareillage, le mode opératoire et les résultats de l'essai sont spécifiés.

## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 22975-1:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016>

# Énergie solaire — Composants et matériaux du collecteur —

## Partie 1: Tubes sous vide — Durabilité et performance

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 22975 spécifie les définitions et les méthodes d'essai pour les matériaux, la durabilité et la performance des tubes sous vide.

La présente partie de l'ISO 22975 est applicable à tous les types de tubes sous vide.

### 2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de façon normative dans le présent document et sont indispensables à son application. 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).

ISO 9488, *Énergie solaire — Vocabulaire*

ISO 9845-1, *Énergie solaire — Rayonnement solaire spectral de référence au sol sous différentes conditions de réception — Partie 1: Rayonnement solaire direct normal et hémisphérique pour une masse d'air de 1,5*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 9488 ainsi que les suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **tube sous vide en verre double paroi**

composant d'un capteur solaire à tubes sous vide dont le tube intérieur et le tube enveloppe sont en verre

#### 3.2

##### **tube sous vide à soudure verre/métal**

composant d'un capteur solaire à tubes sous vide dont l'absorbeur est fixé sur un conduit de fluide en métal, qui est soudé à l'enveloppe en verre par un procédé de scellage spécifique verre-métal

#### 3.3

##### **pierre**

inclusions opaques dans le verre du tube sous vide

#### 3.4

##### **larme**

inclusions transparentes dans le verre du tube sous vide

#### 3.5

##### **rayure**

zone abrasée où la surface du verre est usée ou érodée

**3.6  
enveloppe à vide isolant**

espace entre le tube-enveloppe en verre et l'absorbeur dans un tube sous vide, dans lequel la pression de l'air est assez basse pour ne pas tenir compte de la conduction thermique et la convection de l'air

**3.7  
stagnation**

état dans lequel aucun fluide ne traverse le tube sous vide, et la température du tube sous vide est déterminée par le rayonnement solaire

**3.8  
température d'exposition**

température maximale à une partie accessible du tube sous vide avec un rayonnement spécifié sous des conditions de stagnation (3.7)

Note 1 à l'article: Pour les tubes sous vide en verre double paroi la température dans le tube contenant uniquement de l'air est mesurée. Pour les tubes à flux direct, la mesure est effectuée dans le conduit rempli d'air dans le tube à vide. Pour les tubes à soudure verre/métal à caloducs, la température de surface du condenseur isolé est mesurée.

**3.9  
paramètre d'exposition**

rapport de la différence entre la température d'exposition (3.8) et la température ambiante du rayonnement solaire

**3.10  
somme du rayonnement solaire entraînant l'augmentation de température**

somme du rayonnement solaire entraînant une augmentation de température de l'eau dans un tube sous vide en verre double paroi (3.1), dans une plage préalablement fixée

Note 1 à l'article: Ce terme ne s'applique qu'aux tubes sous vide en verre double paroi.

**3.11  
coefficient moyen de perte de chaleur**

rapport de perte de chaleur par m<sup>2</sup> d'une aire de surface externe définie de l'absorbeur, sans rayonnement, à la différence de température entre l'eau contenue dans le tube à vide et l'air ambiant

Note 1 à l'article: Ce terme ne s'applique qu'aux tubes sous vide en verre double paroi (3.1).

**4 Classification et liste d'essai**

Selon la catégorie de matériau de l'absorbeur, les tubes sous vide peuvent être classés en deux types:

- a) tube sous vide en verre double paroi, voir [Figure A.1](#);
- b) tube sous vide à soudure verre/métal, voir [Figure A.2](#).

Des essais pour les deux catégories de tube sous vide sont résumés au [Tableau 1](#).

**Tableau 1 — Liste d'essai**

Catégorie de tube sous vide	Essai
Verre double paroi, soudure verre/métal	<a href="#">5.1</a> Inspection des pierres et des larmes
Verre double paroi, soudure verre/métal	<a href="#">5.2</a> Inspection des rayures
Verre double paroi, soudure verre/métal	<a href="#">5.3</a> Essai de la transmission solaire
Verre double paroi	<a href="#">5.4</a> Essai de l'absorption solaire
Verre double paroi	<a href="#">5.5</a> Essai de l'émission hémisphérique
Verre double paroi	<a href="#">6.1</a> Performance du vide



Tableau 1 (suite)

Catégorie de tube sous vide	Essai
Verre double paroi	<a href="#">6.2</a> Résistance au choc thermique
Verre double paroi, soudure verre/métal	<a href="#">6.3</a> Résistance à l'impact
Verre double paroi, soudure verre/métal à flux direct	<a href="#">6.4</a> Résistance à la pression interne
Verre double paroi, soudure verre/métal	<a href="#">7.1</a> Essais de détermination du paramètre d'exposition
Verre double paroi	<a href="#">7.2</a> Essais de détermination de la somme du rayonnement solaire pour l'augmentation de température du tube sous vide en verre double paroi
Verre double paroi	<a href="#">7.3</a> Essais de détermination du coefficient moyen de perte de chaleur du tube sous vide en verre double paroi

## 5 Essai du matériau

### 5.1 Inspection des pierres et des larmes

#### 5.1.1 Généralités

Cet essai vise à vérifier l'uniformité du verre par inspection visuelle.

#### 5.1.2 Conditions d'essai

La salle/table d'essai où effectuer les observations doit avoir une intensité lumineuse minimale de 1 500 lx.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016>

#### 5.1.3 Appareillage

L'instrument de mesure des dimensions doit avoir une précision de  $\pm 0,1$  mm.

#### 5.1.4 Mode opératoire

- a) Tracer deux lignes avec un marqueur permanent ou une autre méthode de marquage non invasive d'une épaisseur ne dépassant pas 0,5 mm sur la surface du tube dans une direction axiale, de sorte que la surface soit séparée en deux parties égales.
- b) Placer une partie vers le haut, puis compter et enregistrer séparément le nombre de:
  - pierres d'une taille ne dépassant pas 1 mm;
  - pierres d'une taille supérieure à 1 mm;
  - larmes d'une taille ne dépassant pas 1,5 mm;
  - larmes d'une taille comprise entre 1,5 mm et 2,0 mm;
  - larmes d'une taille supérieure à 2,0 mm;
  - fissures autour des pierres et des larmes.
- c) Tourner l'autre partie du tube vers le haut et répéter l'étape b).
- d) Additionner les valeurs des étapes b) et c) pour chaque catégorie de pierre, larme ou fissure.

- e) Tracer deux autres lignes parallèles aux deux premières, de sorte que la distance entre chaque ligne représente 1/4 du périmètre. Effacer les deux premières lignes et compter les pierres, larmes et fissures comme dans les étapes b) à d).
- f) Pour chaque catégorie de pierre, larme ou fissure, utiliser la valeur la plus grande enregistrée dans les étapes d) et e) comme résultat.

### 5.1.5 Résultats

Enregistrer les valeurs suivantes:

- a) le nombre de pierres d'une taille ne dépassant pas 1 mm, par unité d'aire du tube.
- b) le nombre de pierres d'une taille supérieure à 1 mm sur la totalité du tube.
- c) le nombre total de pierres sur le tube.
- d) le nombre de larmes d'une taille ne dépassant pas 1,5 mm, par unité d'aire du tube.
- e) le nombre de larmes d'une taille comprise entre 1,5 et 2,0 mm sur la totalité du tube.
- f) le nombre de larmes d'une taille supérieure à 2,0 mm sur la totalité du tube.
- g) le nombre de fissures sur la totalité du tube.

## 5.2 Inspection des rayures

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

### 5.2.1 Généralités

Cet essai vise à vérifier et enregistrer les rayures sur le tube par inspection visuelle.

NOTE La présence de rayures est la cause principale du bris des tubes.

### 5.2.2 Conditions d'essai

La salle/table d'essai où effectuer les observations doit avoir une intensité lumineuse minimale de 1 500 lx.

### 5.2.3 Appareillage

L'instrument de mesure des dimensions doit avoir une précision de  $\pm 0,1$  mm.

### 5.2.4 Mode opératoire

- a) Tracer deux lignes avec un marqueur permanent ou une autre méthode de marquage non invasive d'une épaisseur ne dépassant pas 0,5 mm sur la surface du tube dans une direction axiale, de sorte que la surface soit séparée en deux parties égales.
- b) Placer une partie vers le haut, puis compter et enregistrer séparément:
  - le nombre de rayures ne dépassant pas 100 mm;
  - le nombre de rayures supérieur à 100 mm;
  - la longueur totale de toutes les rayures.
- c) Tourner l'autre partie du tube vers le haut et répéter l'étape b).
- d) Additionner les valeurs des étapes b) et c).

- e) Tracer deux autres lignes parallèles aux deux premières, de sorte que la distance entre chaque ligne représente 1/4 du périmètre. Effacer les deux premières lignes et compter et enregistrer les rayures comme dans les étapes b) à d).
- f) Utiliser la plus grande valeur de chaque quantité enregistrée dans les étapes d) et e) comme résultat.

### 5.2.5 Résultats

Enregistrer les valeurs suivantes:

- a) le nombre de rayures ne dépassant pas 100 mm sur la totalité du tube.
- b) le nombre de rayures supérieures à 100 mm sur la totalité du tube.
- c) la longueur totale de toutes les rayures sur la totalité du tube.

## 5.3 Essai de la transmission solaire

### 5.3.1 Généralités

Cet essai sert à évaluer la transmission solaire (AM1.5) d'un tube-enveloppe en verre.

### 5.3.2 Conditions d'essai et appareillage

Un spectrophotomètre avec une précision de longueur d'onde de  $\pm 1$  nm, une résolution de 0,1 nm, une plage de 0,3  $\mu\text{m}$  à 2,5  $\mu\text{m}$  et une sphère intégrante doit être utilisé pour cet essai. Le point de mesure du spectrophotomètre et l'ouverture de la sphère intégrante doit être d'une taille permettant que la courbure du tube n'ait pas d'influence sur le résultat.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/380aad8d-592d-41be-a7cf-3f133813aa05/iso-22975-1-2016>

### 5.3.3 Mode opératoire

La transmission solaire d'un échantillon du tube est soumise deux fois à l'essai. Lors du premier essai, placer l'échantillon sur le point de mesure avec la lumière incidente sur la surface concave et mesurer la transmission de l'échantillon avec le spectrophotomètre pour le rayonnement solaire spectral selon l'ISO 9845-1. Lors du deuxième essai, placer l'échantillon sur le point de mesure avec la lumière incidente sur la surface convexe, et mesurer la transmission de l'échantillon avec le spectrophotomètre pour le rayonnement solaire spectral selon l'ISO 9845-1.

### 5.3.4 Résultats

La transmission du rayonnement solaire spectral selon l'ISO 9845-1 doit être consignée à la fois pour les mesurages et la valeur moyenne de deux mesures.

## 5.4 Essai de l'absorption solaire

### 5.4.1 Généralités

Cet essai sert à déterminer l'absorption solaire (AM1.5) d'un revêtement d'absorbeur sélectif d'un tube sous vide en verre double paroi. Cet essai s'applique uniquement aux tubes sous vide en verre double paroi.

### 5.4.2 Conditions d'essai et appareillage

Un spectrophotomètre avec une précision de longueur d'onde de  $\pm 1$  nm, une résolution de 0,1 nm, une plage de 0,3  $\mu\text{m}$  à 2,5  $\mu\text{m}$  et une sphère intégrante doit être utilisé pour cet essai. Le point de mesure du spectrophotomètre et l'ouverture de la sphère intégrante doit être d'une taille permettant que la courbure du tube n'ait pas d'influence sur le résultat.

### 5.4.3 Méthode

Deux échantillons d'une surface solaire sélective doivent être pris: le premier à une distance de 150 mm de l'extrémité ouverte du tube, et l'autre du milieu du tube. Positionner chaque échantillon au point de mesure avec la lumière incidente sur la surface convexe et mesurer la réflectance pour le rayonnement solaire spectral selon l'ISO 9845-1.

### 5.4.4 Résultats

Calculer et consigner l'absorption solaire pour chaque échantillon à partir de la réflectance mesurée et la moyenne de ces deux résultats d'absorption.

## 5.5 Essai de l'émission hémisphérique

### 5.5.1 Généralités

Cet essai vise à déterminer l'émission hémisphérique du revêtement d'absorbeur sélectif d'un tube sous vide en verre double paroi.

### 5.5.2 Conditions d'essai

L'émission hémisphérique du revêtement d'absorbeur sélectif à l'extérieur du tube interne en verre d'un tube sous vide en verre double paroi est déterminé par la calorimétrie en état stable, à une température de  $80\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

NOTE La pression du gaz dans l'enveloppe à vide isolant étant généralement autour de  $5 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ , la conduction des molécules de gaz peut être ignorée.

L'émission hémisphérique de la surface sélective  $\varepsilon_h$  est donnée à la [Formule \(1\)](#)

$$\varepsilon_h = \frac{IU}{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)} = \frac{q_s}{q_b} \quad (1)$$

où

$I$  est le courant de l'élément chauffant, A;

$U$  est la tension de l'élément chauffant, V;

$A_1$  est la zone de référence de l'extérieur du tube interne en verre,  $\text{m}^2$ ;

$\sigma$  est la constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \times 10^{-8}\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{ K}^{-4}$ ;

$T_1$  est la température de l'élément chauffant en état stable, K;

$T_2$  est la température de l'eau de refroidissement, K;

$q_s$  est l'émittance énergétique de la surface d'absorbeur sélectif,  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;

$q_b$  est l'émittance énergétique du corps noir,  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

### 5.5.3 Appareillage et mode opératoire

Un tube sous vide en verre double paroi est placé dans une enveloppe refroidie par l'eau et des éléments chauffants sont introduits dans le tube. Les éléments chauffants consistent en un chauffage central principal et des éléments chauffants compensateurs en sortie du chauffage principal.

Les éléments chauffants sont contenus dans trois tronçons de tube en céramique qui s'intègrent dans le tube absorbeur interne en verre. Les capteurs de température sont fixés sur chaque élément