

---

---

**Essais au feu — Étalonnage et  
utilisation des appareils de mesure du  
flux thermique —**

**Partie 2:  
Méthodes d'étalonnage primaire**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Fire tests — Calibration and use of heat flux meters —  
Part 2: Primary calibration methods*  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 14934-2:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-2ec2b74852ec/iso-14934-2-2013>



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

ISO 14934-2:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-2ec2b74852ec/iso-14934-2-2013>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2013

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  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## 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>Principes</b> .....	<b>1</b>
4.1   Principes généraux.....	1
4.2   Principe de la méthode de la cavité corps noir sous vide (VBBC) (Méthode 1).....	2
4.3   Principe de la méthode de la cavité corps noir sphérique (Méthode 2).....	2
4.4   Principe de la méthode du corps noir à température variable (VTBB) (Méthode 3).....	2
<b>5</b> <b>Aptitude d'un capteur à l'étalonnage</b> .....	<b>3</b>
5.1   Types de fluxmètres thermiques.....	3
5.2   Conception des fluxmètres thermiques.....	3
5.3   Étendue de mesure.....	3
5.4   État du fluxmètre thermique avant l'étalonnage.....	3
<b>6</b> <b>Méthode de la cavité corps noir sous vide (VBBC) (Méthode 1)</b> .....	<b>3</b>
6.1   Appareillage.....	3
6.2   Mode opératoire de fonctionnement.....	6
6.3   Incertitude.....	6
<b>7</b> <b>Méthode de la cavité corps noir sphérique (Méthode 2)</b> .....	<b>7</b>
7.1   Appareillage.....	7
7.2   Mode opératoire de fonctionnement.....	12
7.3   Incertitude.....	12
<b>8</b> <b>Méthode du corps noir à température variable (VTBB) (Méthode 3)</b> .....	<b>15</b>
8.1   Appareillage.....	15
8.2   Mode opératoire de fonctionnement.....	18
8.3   Incertitude.....	19
<b>9</b> <b>Nombre de niveaux d'étalonnage</b> .....	<b>21</b>
<b>10</b> <b>Expression des résultats</b> .....	<b>21</b>
<b>11</b> <b>Rapport d'étalonnage</b> .....	<b>22</b>
<b>Annexe A (normative) Mode opératoire pour la méthode de la cavité corps noir sous vide (VBBC) (Méthode 1)</b> .....	<b>23</b>
<b>Annexe B (normative) Calcul de l'éclairement énergétique produit par la cavité corps noir sous vide (VBBC) sur le fluxmètre thermique</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe C (informative) Exemples de captures d'écran d'ordinateur pour le calcul de l'éclairement énergétique produit par la cavité corps noir sous vide (VBBC)</b> .....	<b>28</b>
<b>Annexe D (normative) Mode opératoire pour la méthode de la cavité corps noir sphérique (Méthode 2)</b> .....	<b>30</b>
<b>Annexe E (normative) Calcul de l'éclairement énergétique produit par la cavité corps noir sphérique sur le fluxmètre thermique</b> .....	<b>32</b>
<b>Annexe F (normative) Plans pour les refroidisseurs fixe et mobile par rapport à la cavité corps noir sphérique</b> .....	<b>35</b>
<b>Annexe G (informative) Recommandations pour les opérateurs utilisant la méthode de la cavité corps noir sphérique</b> .....	<b>39</b>
<b>Annexe H (normative) Mode opératoire du radiomètre à substitution électrique (ESR)</b> .....	<b>40</b>

<b>Annexe I (normative) Mode opératoire pour l'étalonnage du fluxmètre thermique à l'aide de la méthode du VTBB de 25 mm (Méthode 3)</b> .....	<b>42</b>
<b>Annexe J (normative) Procédure de réduction des données pour la méthode du VTBB (Méthode 3)</b> <b>44</b>	
<b>Annexe K (informative) Fidélité de l'étalonnage</b> .....	<b>46</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>47</b>

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

[ISO 14934-2:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-2ec2b74852ec/iso-14934-2-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-2ec2b74852ec/iso-14934-2-2013>

## Avant-propos

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

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

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.

L'ISO 14934-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 92, *Sécurité au feu*, sous-comité SC 1, *Amorçage et développement du feu*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 14934-2:2006), qui a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO 14934 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Essais au feu — Étalonnage et utilisation des appareils de mesure du flux thermique*:

- *Partie 1: Principes généraux*
- *Partie 2: Méthodes d'étalonnage primaire*
- *Partie 3: Méthode d'étalonnage secondaire*
- *Partie 4: Lignes directrices pour l'utilisation des fluxmètres thermiques dans les essais au feu*

## Introduction

Dans de nombreuses méthodes d'essais au feu, le niveau de rayonnement est spécifié et, donc, il est très important que le flux thermique radiatif soit bien défini et mesuré avec une exactitude suffisante. Le transfert thermique radiatif est également le mode prépondérant de transfert thermique dans la plupart des feux réels.

Dans la pratique, le flux thermique radiatif est habituellement mesuré au moyen des fluxmètres thermiques totaux du type Schmidt-Boelter (thermopile) ou du type Gardon (feuille). Ces fluxmètres enregistrent le flux thermique combiné par rayonnement et convection par rapport à une surface refroidie. La contribution au transfert thermique par convection dépend principalement de la différence de température entre les gaz environnants et la surface sensible et de la vitesse des gaz environnants. Elle dépendra également de la taille et de la forme du fluxmètre thermique, de son orientation et de sa température qui est proche de la température de l'eau de refroidissement. Dans de nombreuses situations pratiques dans les essais de feu, la contribution de la convection à la surface sensible de l'instrument peut s'élever à 25 % du flux thermique radiatif. Par conséquent, il est toujours nécessaire de déterminer et contrôler cette composante.

Pour déterminer la fraction du flux thermique total dû au rayonnement, un schéma d'étalonnage a été mis au point dans lequel l'étalonnage primaire est réalisé sur deux types différents de fluxmètres thermiques: (1) un radiomètre hémisphérique total, sensible uniquement au rayonnement, et (2) un fluxmètre thermique total (plus fréquemment utilisé), sensible à la fois au transfert thermique par rayonnement et au transfert thermique par convection. La comparaison des mesures entre les deux types d'appareils de mesure dans des méthodes d'étalonnage (ou de transfert) secondaire permet de caractériser l'influence de la convection dans la méthode. Pour tous les étalonnages et mesures du flux thermique radiatif, il convient dans toute la mesure du possible d'inclure dans les calculs d'incertitude celle qui est associée à l'élimination de la composante de convection. Pour les méthodes d'étalonnage secondaire, l'utilisation combinée des radiomètres hémisphériques et fluxmètres thermiques totaux permet d'estimer la contribution de la convection. La même configuration peut être également utilisée dans l'étalonnage des méthodes d'essais de feu.

L'étalonnage primaire est réalisé dans une cavité corps noir dans des conditions où la composante convective du transfert thermique peut être négligée ou contrôlée. Un exemple d'un tel appareillage est une installation de corps noir sous vide ayant la caractéristique unique de présenter des effets négligeables de la convection et de la conduction décrits dans le présent document comme étant la méthode de la cavité corps noir sous vide (VBBC pour *vacuum black-body cavity*) (Méthode 1). D'autres installations de corps noirs (non sous vide) peuvent également être appropriées comme sources primaires de chaleur pour l'étalonnage, sous réserve qu'elles soient complètement caractérisées, particulièrement en termes d'effets convectifs éventuels sur la surface sensible du fluxmètre thermique qui est en cours d'étalonnage. Un exemple d'une telle installation décrite dans le présent document comme étant la méthode de la cavité corps noir sphérique (Méthode 2) est un four ayant un orifice orienté vers le bas afin de réduire la convection au minimum. Un autre exemple en est la méthode du corps noir à température variable (VTBB pour *variable temperature black-body*) (Méthode 3) dans laquelle l'effet de la composante convective est réduit au minimum par l'adoption d'une procédure de substitution où le fluxmètre thermique devant être étalonné est comparé à un radiomètre étalon primaire. Dans ces conditions, l'effet convectif pour chaque mesurage peut être supposé comme étant d'un même ordre de grandeur.

**NOTE** Les fluxmètres Schmidt-Boelter et Gardon sont des exemples de produits appropriés disponibles sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs de la présente partie de l'ISO 14934 et ne signifie nullement que l'ISO approuve ou recommande l'emploi exclusif des produits ainsi désignés.

# Essais au feu — Étalonnage et utilisation des appareils de mesure du flux thermique —

## Partie 2: Méthodes d'étalonnage primaire

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 14934 décrit trois méthodes d'étalonnage pour les radiomètres hémisphériques totaux et les fluxmètres thermiques totaux, ces appareils étant exposés à un rayonnement bien défini provenant d'une source de chaleur rayonnante. L'équipement est dimensionné pour minimiser les influences du transfert thermique par convection pendant l'étalonnage. Il est important de noter que, dans leur utilisation pratique, ces instruments mesurent une combinaison du transfert thermique par rayonnement et du transfert thermique par convection. L'influence de cette dernière composante dépendra de la conception du fluxmètre thermique, de l'orientation, des conditions locales de température et d'écoulement ainsi que de la température de l'eau de refroidissement.

### 2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de manière 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 14934-2:2013  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-b5c0174852ec/iso-14934-2-2013>

ISO 13943, *Sécurité au feu — Vocabulaire*

ISO 14934-1, *Essais au feu — Étalonnage et utilisation des appareils de mesure du flux thermique — Partie 1: Principes généraux*

CEI 60584-2, *Couples thermoélectriques — Partie 2: Tolérances*

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

Guide ISO/CEI 99, *Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 13943, l'ISO 14934-1, le Guide ISO/CEI 98-3 et le Guide ISO/CEI 99 s'appliquent.

### 4 Principes

#### 4.1 Principes généraux

L'étalonnage des fluxmètres thermiques (radiomètres hémisphériques totaux et fluxmètres thermiques totaux) est effectué avec une source de chaleur rayonnante de type corps noir.

#### 4.2 Principe de la méthode de la cavité corps noir sous vide (VBBC) (Méthode 1)

Cette méthode est utilisée pour étalonner les fluxmètres thermiques entre 2 kW/m<sup>2</sup> et 70 kW/m<sup>2</sup>. Elle est conçue pour les fluxmètres thermiques totaux ou les radiomètres hémisphériques totaux ayant un diamètre hors tout de 50 mm au maximum. Ces appareils peuvent avoir des tubes pour l'eau et/ou l'air qui sont placés dans la direction axiale. L'étalonnage des fluxmètres thermiques consiste à lire la tension de sortie des fluxmètres thermiques totaux ou des radiomètres hémisphériques totaux lorsqu'ils sont éclairés par une source rayonnante corps noir traçable fonctionnant sous vide. Le fait de baisser la pression absolue dans la cavité corps noir à une valeur comprise entre 0,5 Pa et 2 Pa réduit considérablement le transfert thermique convectif. Les fluxmètres thermiques devant être étalonnés sont fixés sur un support et font partie intégrante du système fermé. Le mode opératoire en est donné en [Annexe A](#). La relation entre la température du four et l'éclairement énergétique au niveau du fluxmètre thermique est donnée en [Annexe B](#). Des exemples de captures d'écran d'ordinateur sont donnés en [Annexe C](#).

#### 4.3 Principe de la méthode de la cavité corps noir sphérique (Méthode 2)

Cette méthode est utilisée pour étalonner les fluxmètres thermiques entre 2 kW/m<sup>2</sup> et 70 kW/m<sup>2</sup>. Une source de chaleur rayonnante corps noir conçue comme un four sphérique comportant une ouverture à sa partie inférieure est utilisée. La température du four, réglée avec une précision élevée, est très uniforme à l'intérieur du four, assurant un niveau élevé de précision de la chaleur rayonnante.

Les fluxmètres thermiques devant être étalonnés sont insérés par l'ouverture située au fond du four, la surface sensible du fluxmètre thermique étant orientée horizontalement. L'influence de la convection est réduite à un minimum. Le fluxmètre thermique ne «voit» que l'environnement contrôlé de l'émetteur corps noir. Le niveau de rayonnement de cet émetteur corps noir dépend principalement de la température mesurée, ce qui le rend traçable par rapport aux étalons internationaux de température.

L'exactitude de la méthode dépend de la conception de l'appareillage d'essai. Le mode opératoire est donné en [Annexe D](#). La relation entre la température du four et l'éclairement énergétique au niveau du fluxmètre thermique est décrite en [Annexe E](#). Les limites d'erreurs supposent que l'appareillage est construit conformément aux figures montrées dans l'[Annexe F](#). Des recommandations pour les opérateurs sont données dans l'[Annexe G](#).

#### 4.4 Principe de la méthode du corps noir à température variable (VTBB) (Méthode 3)

La méthode exploite le principe de la radiométrie à substitution électrique pour étalonner des capteurs de flux thermique pouvant atteindre 50 kW/m<sup>2</sup> au maximum. Les capteurs sont étalonnés en se référant à un radiomètre à substitution électrique à température ambiante dont l'étalonnage est traçable par rapport à un radiomètre cryogénique de haute précision (HACR) étalon primaire. Il s'agit d'un étalon qui est utilisé pour la puissance de rayonnement optique et qui est soutenu par une chaîne d'étalonnages indépendants.

L'étalonnage utilise un corps noir à température variable (VTBB) de 25 mm de diamètre de cavité comme source rayonnante à large bande. Le VTBB se compose d'une cavité double dans un tube de graphite chauffé électriquement. La température de corps noir est réglée et stable à ± 0,1 K par rapport à la valeur de consigne.

Le capteur de flux thermique devant être étalonné et le radiomètre étalon de référence sont placés à une distance fixe de l'ouverture du corps noir, en fonction du niveau du flux thermique. La variation du niveau du flux thermique incident au droit de l'emplacement du capteur est obtenue en faisant varier la température du VTBB. Le mode opératoire pour le radiomètre à substitution électrique est donné en [Annexe H](#). Le mode opératoire de l'étalonnage est donné en [Annexe I](#). La procédure de réduction des données est donnée en [Annexe J](#).

## 5 Aptitude d'un capteur à l'étalonnage

### 5.1 Types de fluxmètres thermiques

Les trois méthodes sont toutes prévues pour l'étalonnage des radiomètres hémisphériques totaux et des fluxmètres thermiques totaux. Les fluxmètres thermiques totaux sont généralement du type Schmidt-Boelter et du type Gardon. Les données d'étalonnage expérimentales sont normalement accompagnées d'une expression indiquant la sensibilité du fluxmètre. Il convient de noter que le fluxmètre a une sensibilité spectrale spécifique à chaque longueur d'onde  $\lambda$ . Toutefois, pour les fluxmètres thermiques utilisés dans les essais de feu, la sensibilité peut être supposée indépendante de la longueur d'onde sur la plage spectrale des sources rayonnantes communément examinées. Les écarts par rapport aux caractéristiques idéales de réponse directionnelle peuvent être négligés.

Le champ de vue est supposé être hémisphérique (angle solide de  $180^\circ$ ) et la surface est censée se comporter comme un corps noir parfait, tant du point de vue des caractéristiques spectrales que de celui de la réponse directionnelle.

Les méthodes peuvent être utilisées pour les radiomètres ayant un champ de vue limité, à condition que ce champ soit bien caractérisé et que les corrections apportées pour ce champ de vue soient traçables.

### 5.2 Conception des fluxmètres thermiques

Les radiomètres et les fluxmètres thermiques ayant un diamètre hors tout maximal de 50 mm et un diamètre de surface sensible pouvant atteindre 10 mm peuvent être pris en charge dans les Méthodes 1 et 2. Au cours de l'étalonnage, la température de corps du fluxmètre thermique doit rester constante. Un refroidissement à l'eau permet de s'en assurer. Dans un certain nombre de cas, une alimentation d'air est utilisée pour maintenir la fenêtre exempte de poussière. Dans la mesure du possible, les canalisations d'eau et/ou d'air suivent un chemin parallèle à l'axe de l'appareil de mesure afin de maintenir les conduites dans les limites du diamètre hors tout de 50 mm.

NOTE Pour le VTBB, aucune restriction n'est imposée sur le diamètre hors tout du capteur ou sur la manière d'acheminer les conduites d'eau de refroidissement ou de gaz de purge. Toutefois, il est recommandé que la surface sensible du capteur ait un diamètre inférieur ou égal à 10 mm.

### 5.3 Étendue de mesure

Les radiomètres étant généralement conçus pour être utilisés dans une certaine plage, il convient de les étalonner dans cette plage. Pour les radiomètres qui seront utilisés hors de la plage de la méthode choisie, il n'est pas permis, sauf justification, d'extrapoler les résultats d'étalonnage obtenus.

### 5.4 État du fluxmètre thermique avant l'étalonnage

Le revêtement sur le capteur est examiné visuellement et, si une réparation est nécessaire, le client en est informé.

## 6 Méthode de la cavité corps noir sous vide (VBBC) (Méthode 1)

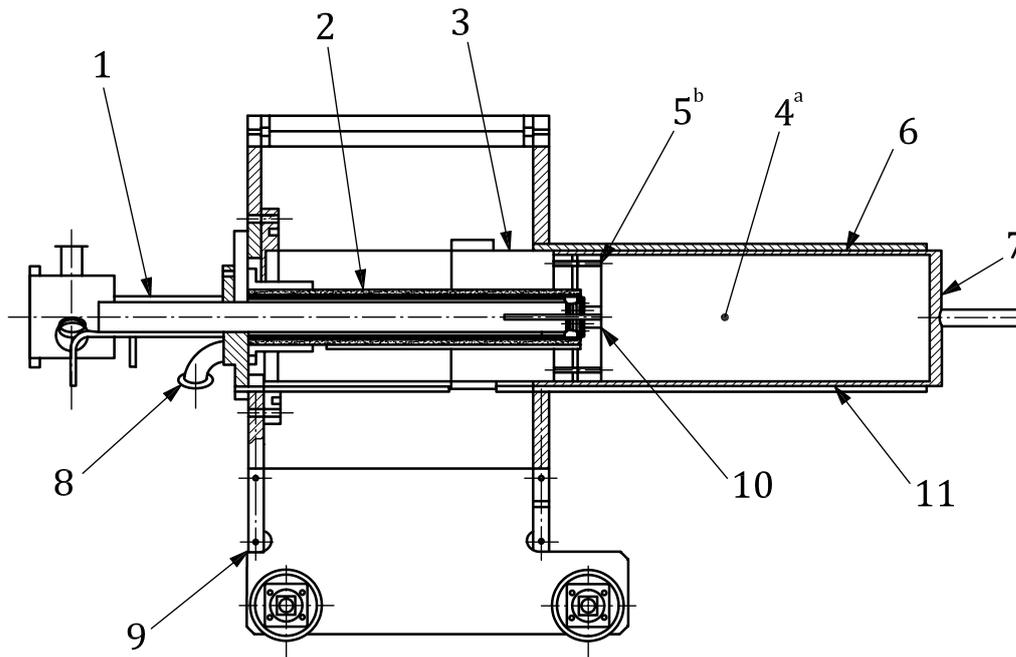
### 6.1 Appareillage

#### 6.1.1 Description générale d'un appareillage pour la Méthode 1

L'appareillage d'étalonnage primaire est un système isolé fermé comportant deux pièces essentielles (voir le schéma de la [Figure 1](#)):

- un canon qui est un tube cylindrique mobile (1) comprenant la cavité corps noir (4) chauffée électriquement [(3), (6)], les diaphragmes (5), le fluxmètre thermique (10) et ses tubes de refroidissement,

— une chambre isolée et refroidie (2).



**Légende**

- 1 porte-fluxmètre refroidi à l'eau
- 2 tube de céramique
- 3 dispositif de chauffage électrique
- 4 cavité corps noir
- 5 diaphragme
- 6 trois dispositifs de chauffage électrique
- 7 thermocouple radial multipoints
- 8 pompe à vide
- 9 chariot mobile
- 10 fluxmètre thermique
- 11 thermocouple longitudinal multipoints
- a Voir [Figure 3](#).
- b Voir [Figure 2](#).

Iteh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-2ec2b74852ec/iso-14934-2-2013>

**Figure 1 — Coupe du four (VBBC)**

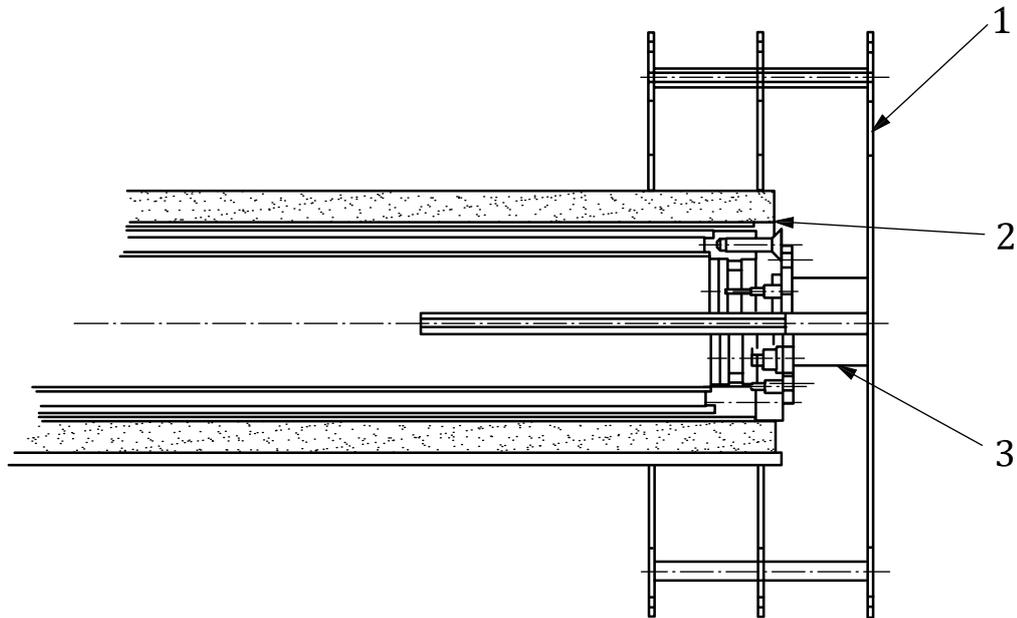
**6.1.2 Cavité corps noir sous vide (VBBC)**

La cavité est un cylindre horizontal ayant un diamètre de 160 mm environ et une longueur de 420 mm environ (voir [Figures 2 et 3](#)). Le fluxmètre thermique affleure le diaphragme afin de fermer le système composé du corps noir et du diaphragme.

La cavité corps noir est mise sous vide au moyen d'une pompe primaire et d'une turbopompe moléculaire. La pression dans la cavité est mesurée et enregistrée en continu.

La cavité corps noir est chauffée électriquement à travers la paroi cylindrique au moyen d'enroulements. Quatre régulateurs du type PID (commande proportionnelle-intégrale-dérivée) commandent le chauffage de la cavité. Ces régulateurs PID maintiennent la température du corps noir à ± 0,3 K environ par rapport à la valeur de consigne. Une chemise de céramique est placée autour de la cavité afin de réduire les pertes thermiques. Le fluxmètre thermique est entouré de trois diaphragmes afin de réfléchir

le rayonnement provenant de la cavité et de limiter les pertes créées par cette ouverture. Le corps noir peut fonctionner jusqu'à une température d'environ 900 °C.



#### Légende

- 1 diaphragme
- 2 interface du fluxmètre thermique pour un corps lisse avec et sans collerette
- 3 fluxmètre thermique

Figure 2 — Coupe du fluxmètre thermique affleurant les diaphragmes

ISO 14934-2:2013  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d760d924-737d-4f91-b65b-2ec2b74852ec/iso-14934-2-2013>

Dimensions en millimètres

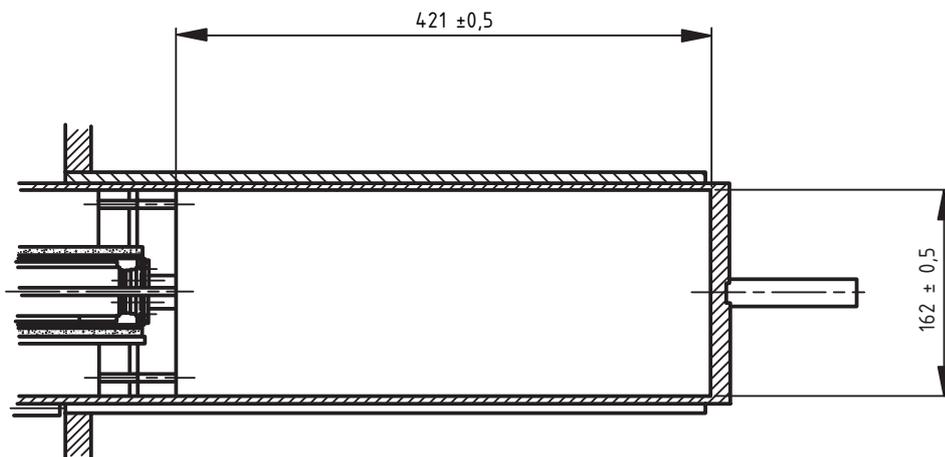


Figure 3 — Coupe de la cavité corps noir

### 6.1.3 Mesure de la température

Les profils thermiques de la cavité sont mesurés à l'aide de thermocouples.

- a) Un ensemble de thermocouples du type S mesure la variation de température radiale à l'arrière de la cavité; en partant du centre, les emplacements radiaux des thermocouples sont 0 mm, 27 mm, 54 mm, 81 mm.

- b) Des thermocouples du type K sont insérés en différents points le long de la cavité pour mesurer le gradient de température. Les thermocouples sont placés respectivement à une distance de l'avant du corps noir de 0 mm, 17 mm, 33 mm, 50 mm, 67 mm, 83 mm, 100 mm, 133 mm, 167 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 410 mm.
- c) Un tube de céramique, contenant un thermocouple de type S étalonné, est utilisé pour donner la référence et vérifier la variation de température le long de la cavité.

#### 6.1.4 Mesure de la pression

Le système de pompage comprend deux pompes:

- a) une pompe primaire mécanique, qui abaisse la pression de la pression atmosphérique jusqu'à 10 000 Pa,
- b) une turbopompe moléculaire, appelée pompe secondaire, qui permet d'abaisser la pression à moins de 1 Pa. La pression est mesurée à l'aide d'un manomètre de Pirani.

Le retour à la pression atmosphérique est effectué sous azote.

#### 6.1.5 Acquisition des données et logiciel – interfaçage de l'installation d'étalonnage

Le rayonnement thermique incident sur le capteur de flux thermique inséré dans la cavité corps noir peut être déterminé à partir de la mesure des températures et de la pression dans la cavité et à partir de l'emplacement et de la géométrie du capteur. Un calcul systématique a été mis au point pour déterminer le rayonnement thermique incident.

Les réponses du fluxmètre et des différents thermocouples sont mesurées à l'aide d'un voltmètre ayant l'exactitude appropriée. Toutes les tensions de sortie requises (manomètre, thermocouple, etc.) sont enregistrées à l'aide d'un système enregistreur de données.

La réduction des données et le calcul de l'éclairement énergétique produit sur le capteur sont effectués à l'aide d'un programme informatique spécial.

### 6.2 Mode opératoire de fonctionnement

Le fluxmètre thermique est inséré dans la cavité corps noir sous vide. Dans ce cas et en première approximation, le signal de sortie délivré par le fluxmètre est proportionnel au flux thermique incident total qui irradie le capteur.

Dans une étape préliminaire, la relation entre le flux thermique incident total arrivant sur un fluxmètre type de laboratoire et la température de la cavité a été calculée à l'aide de la méthode du rayonnement thermique net et de la modélisation du transfert thermique par convection à l'intérieur de la cavité corps noir. Puis, lorsqu'un fluxmètre est étalonné, cette relation, avec les mêmes hypothèses relatives aux conditions aux limites expérimentales, est utilisée pour obtenir le flux thermique incident total à partir des mesures de la température de cavité.

Le mode opératoire de l'étalonnage est décrit dans le détail en [Annexe A](#). La procédure de réduction des données est décrite en [Annexe B](#).

### 6.3 Incertitude

#### 6.3.1 Incertitude en général

L'estimation de l'incertitude élargie d'une mesure est basée sur une analyse des principales sources d'incertitudes. La contribution de chaque composante due à la méthode, au milieu et aux dispositifs utilisés est analysée. Un récapitulatif des incertitudes estimées est consigné dans le [Tableau 1](#).

### 6.3.2 Température de corps noir, modélisation du transfert thermique et émissivité

La composante «température de corps noir» prend en compte tous les détails d'une mesure de température. La composante «modélisation de transfert thermique» s'obtient par une analyse de l'influence qu'ont les positions des thermocouples, la modélisation du rayonnement et de la convection ainsi que la résistance thermique (environ 1,3 % au bas niveau de flux thermique). Cette composante est la plus importante source d'incertitude. L'incertitude liée à l'émissivité de chaque partie de la cavité corps noir peut être considérée comme étant une contribution négligeable à l'incertitude totale.

### 6.3.3 Relevé de la pression de sortie

L'incertitude liée au relevé de la pression de sortie est déterminée par les détails relatifs à l'étalonnage et à la résolution des instruments.

### 6.3.4 Lecture du radiomètre

Cette contribution est calculée pour un capteur refroidi à l'eau. La répétabilité et l'influence du flux de refroidissement sont en particulier prises en compte. En fonction du niveau du flux thermique, différents scénarii sont appliqués pour l'acquisition de données des relevés du radiomètre. Le résultat obtenu est un compromis entre l'effet du temps d'équilibre aux niveaux de flux thermique du programme d'étalonnage et la résistance du revêtement du capteur.

Tableau 1 — Récapitulatif des sources d'incertitude

Source d'incertitude	Type	Incertitude relative ± % à					
		272 °C (5,0 kW/m <sup>2</sup> )	375 °C (10,0 kW/m <sup>2</sup> )	542 °C (25,0 kW/m <sup>2</sup> )	671 °C (45,1 kW/m <sup>2</sup> )	700 °C (50,8 kW/m <sup>2</sup> )	800 °C (75,2 kW/m <sup>2</sup> )
Température de corps noir	A-B	0,24	0,20	0,20	0,19	0,19	0,18
Modélisation du transfert thermique	B	1,27	1,07	0,85	0,73	0,71	0,64
Émissivité de corps noir	B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Relevé de la pression de sortie	B	0,10	0,07	0,03	0,02	0,02	0,01
Lecture du radiomètre	A-B	0,84	0,54	0,43	0,42	0,41	0,41
Incertitude relative élargie combinée ( <i>k</i> = 2)		3,1	2,4	1,9	1,7	1,7	1,6

L'incertitude relative élargie (*k* = 2) est estimée comme étant inférieure à ± 2,5 % pour la plage des flux thermiques compris entre 10 kW/m<sup>2</sup> et 75 kW/m<sup>2</sup>.

## 7 Méthode de la cavité corps noir sphérique (Méthode 2)

### 7.1 Appareillage

#### 7.1.1 Description générale d'un appareillage pour la Méthode 2

Il s'agit d'une méthode semi-fermée qui est basée sur l'utilisation d'une chambre de four sphérique bien isolée, chauffée électriquement. Un porte-fluxmètre refroidi à l'eau contenant le fluxmètre thermique est inséré dans l'ouverture pratiquée au fond du four. Le four est représenté à la [Figure 4](#).

Il convient que le four sphérique, pour fonctionner comme émetteur corps noir presque parfait, ait une grande superficie par rapport à l'ouverture. L'ouverture dans le tube de visée refroidi à l'eau définit le

facteur de forme sous lequel le four rayonne vers le fluxmètre thermique. Le tube de visée et le fluxmètre avec son porte-fluxmètre sont placés au fond du tube pour réduire l'effet des courants de convection.

### 7.1.2 Chambre du four sphérique

Le four sphérique consiste en une coque interne en matériau à base d'Inconel<sup>1)</sup> qui est fortement oxydé pour améliorer son émissivité spectrale. À l'extérieur de cette coque d'Inconel, des enroulements chauffants électriques uniformément répartis sont fixés avec un composé céramique ayant une bonne conductivité thermique. La chambre du four est enrobée dans un matériau isolant thermique céramique résistant aux hautes températures afin de réduire au minimum les pertes thermiques et établir une distribution uniforme de la température. Il convient que le diamètre intérieur de la chambre du four soit supérieur à 4,5 fois l'ouverture limitante du tube de visée refroidi à l'eau.

### 7.1.3 Tube de visée et porte-fluxmètre

Le tube de visée refroidi à l'eau consiste en un assemblage de cylindres concentriques ayant un système de canaux d'eau entre eux. Le tube de visée doit être soigneusement usiné à des cotes précises. Son ouverture supérieure forme une ouverture par laquelle le four rayonne vers le fluxmètre thermique. Une collerette se trouve à une certaine distance vers le bas ( $X_1$  dans les [Figures 5](#) et [6](#)). Cette collerette sert partiellement d'écran contre le rayonnement parasite, mais surtout d'appui, pour positionner précisément le porte-fluxmètre refroidi à l'eau. Le tube de visée avec le porte-fluxmètre est montré à la [Figure 5](#) où les principaux détails sont identifiés.

Le tube de visée est calculé pour être utilisé avec le porte-fluxmètre en deux positions, sans occasionner de réflexions par les parois du refroidisseur. La position supérieure (sans bague d'entretoise) et un emplacement situé à 40 mm en dessous (avec bague d'entretoise) prenant en charge des plages de rayonnement de 6 kW/m<sup>2</sup> à 75 kW/m<sup>2</sup> et de 2 kW/m<sup>2</sup> à 25 kW/m<sup>2</sup> respectivement, à l'intervalle de températures de 400 °C à 1 000 °C. Le tube de visée et le porte-fluxmètre doivent être fabriqués avec précision afin de fournir la donnée d'entrée exacte pour le calcul du niveau de rayonnement à la surface sensible.

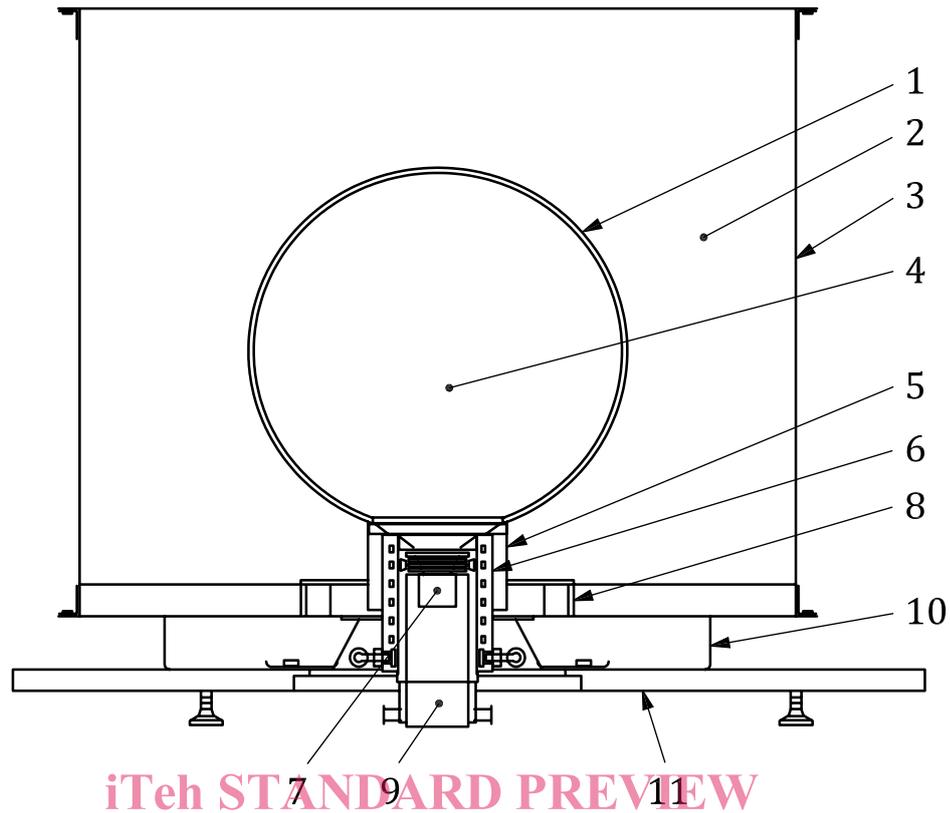
La [Figure 5](#) montre le porte-fluxmètre à sa position supérieure. Le porte-fluxmètre comprend un certain nombre de collerettes qui protègent le fluxmètre contre le rayonnement réfléchi par la paroi du porte-fluxmètre refroidie. Les collerettes aident également à maintenir la stratification de l'air, qui réduit le transfert thermique convectif vers la surface sensible du fluxmètre.

La [Figure 6](#) montre le porte-fluxmètre à sa position la plus basse, la bague d'entretoise étant insérée entre la collerette d'arrêt et le porte-fluxmètre. La bague d'entretoise amovible contient une autre collerette servant d'écran contre la réflexion. La bague d'entretoise sert également à assurer le positionnement exact du porte-fluxmètre à sa position la plus basse.

Si le diamètre du corps du fluxmètre est inférieur au diamètre intérieur du porte-fluxmètre, une fixation doit être utilisée pour positionner le fluxmètre le long de la ligne médiane du porte-fluxmètre.

---

1) Inconel est un exemple de produit approprié disponible sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs de la présente partie de l'ISO 14934 et ne signifie nullement que l'ISO approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné.



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

#### Légende

- 1 cavité sphérique avec dispositif chauffant en céramique moulée
- 2 matériau isolant thermique en céramique basse densité
- 3 carter intérieur en acier inoxydable
- 4 thermocouple fixé à la surface intérieure de la sphère
- 5 isolant thermique en céramique dure
- 6 tube de visée refroidi à l'eau
- 7 fluxmètre thermique
- 8 pare-chocs d'isolant céramique
- 9 porte-fluxmètre mobile refroidi à l'eau
- 10 structure support intérieure
- 11 semelle frontale inférieure

Figure 4 — Coupe verticale du four sphérique