

RECOMMANDATION
INTERNATIONALE

OIML R 147

Édition 2016 (F)

Corps noirs étalons dans la gamme de température
–50 °C à 2500 °C.

Procédures d'étalonnage et de vérification

Standard blackbody radiators for the temperature range
from –50 °C to 2500 °C.

Calibration and verification procedures



Sommaire

Avant-propos	4
Introduction	5
1 Domaine d'application	5
2 Termes, définitions, unités et références	5
2.1 Termes et définitions généraux	5
2.2 Termes et définitions spécifiques	6
3 Description de la catégorie d'instrument	7
4 Unités de mesure	7
5 Exigences métrologiques et caractéristiques testées des corps noirs (CN)	7
6 Exigences techniques pour les corps noirs	7
6.1 Types de corps noirs	7
7 Contrôles métrologiques	9
7.1 Procédure de vérification et d'étalonnage	9
7.2 Accréditation	9
8 Méthodes d'étalonnage et de vérification des corps noirs : format du rapport	9
8.1 Méthodes	9
8.2 Opérations et moyens d'étalonnage et de vérification des corps noirs	11
8.3 Examen externe	12
8.4 Essais de fonctionnement	12
8.5 Évaluation de la géométrie de rayonnement du corps noir	13
8.6 Évaluation du temps de préchauffage, de la dérive en température et du temps de transition lorsque le corps noir passe d'un mode stationnaire à un autre	13
8.7 Évaluation de l'instabilité de contrôle thermique du corps noir	14
8.8 Évaluation de la correction à appliquer aux lectures du thermomètre intégré dans le corps noir	15
8.9 Évaluation de l'incertitude de la température du corps noir	17
8.10 Expression des résultats	17
Annexe A – Évaluation de l'incertitude de température du corps noir	19
Annexe B – Formulaire types pour les certificats d'étalonnage et de vérification	28
Annexe C – Références	31

Avant-propos

L'organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) est une organisation intergouvernementale mondiale dont l'objectif principal est d'harmoniser les réglementations et contrôles métrologiques mis en œuvre par les services nationaux de métrologie, ou organismes apparentés, de ses Etats Membres. Les principales catégories de publication de l'OIML sont :

- **Les Recommandations Internationales (OIML R)**, qui sont des modèles de réglementations fixant les caractéristiques métrologiques d'instruments de mesure et les méthodes et moyens de contrôle de leur conformité ; les États Membres de l'OIML doivent, dans la mesure du possible, mettre en application ces Recommandations ;
- **Les Documents Internationaux (OIML D)**, qui sont de nature informative et destinés à harmoniser et à améliorer le travail dans le domaine de la métrologie légale ;
- **Les Guides Internationaux (OIML G)**, qui sont également de nature informative et qui sont destinés à donner des directives pour la mise en application à la métrologie légale de certaines exigences ; et
- **Les Publications de Base Internationales (OIML B)**, qui définissent les règles de fonctionnement des différentes structures et systèmes OIML.

Les projets de Recommandations, Documents et Guides OIML sont élaborés par des Groupes de Projets reliés aux Comités Techniques ou Sous-Comités Techniques composés de représentants d'États Membres de l'OIML. Certaines institutions internationales et régionales y participent également à titre consultatif. Des accords de coopération ont été conclus entre l'OIML et certaines institutions, telles que l'ISO et la CEI, pour éviter des prescriptions contradictoires. En conséquence, les fabricants et utilisateurs d'instruments de mesure, les laboratoires d'essais, etc. peuvent appliquer simultanément les publications OIML et celles d'autres institutions.

Les Recommandations Internationales, Documents, Guides et publications de base sont publiés en anglais (E), traduites en français (F) et sont révisés périodiquement.

De plus, l'OIML publie ou participe à la publication de **Vocabulaires (OIML V)** et mandate périodiquement des experts en métrologie légale pour rédiger des **Rapports d'Expert (OIML E)**. Les Rapports d'Expert sont destinés à fournir des informations et conseils, et reflètent uniquement le point de vue de leur auteur, en dehors de toute participation d'un Comité Technique ou d'un Sous-Comité Technique, ou encore de celle du CIML. Ainsi, ils ne reflètent pas nécessairement l'opinion de l'OIML.

Cette publication - référence OIML R 147 édition 2016 - a été élaborée par le Groupe de Projet 3 du Sous-comité Technique TC 11/SC 3 de l'OIML *Thermomètres à radiation*. Elle a été approuvée pour publication finale par le Comité International de Métrologie Légale en 2016 et a été soumise à la Conférence Internationale de Métrologie Légale en 2016 pour sanction formelle.

Les Publications de l'OIML peuvent être téléchargées depuis le site internet de l'OIML sous la forme de fichiers PDF. Des informations complémentaires sur les Publications OIML peuvent être obtenues au siège de l'Organisation :

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot - 75009 Paris - France
Téléphone : 33 (0)1 48 78 12 82
Fax : 33 (0)1 42 82 17 27
E-mail : biml@oiml.org
Internet : www.oiml.org

Introduction

Cette Recommandation traite du contrôle métrologique de la fabrication et du fonctionnement des corps noirs (appelés ci-après « CN ») avec une température contrôlée dans les pays membres de l'OIML. Elle peut servir de base pour l'étalonnage, la vérification et la certification de ces instruments.

À l'heure actuelle, la plupart des thermomètres à radiation sont vérifiés et étalonnés à l'aide de corps noirs. Le nombre croissant de thermomètres à radiation a entraîné une augmentation de la fabrication de corps noirs. Cependant, il n'existe aucun document international décrivant l'étalonnage et la vérification de tels corps noirs. Par conséquent, la présente Recommandation est d'une importance capitale.

1 Domaine d'application

La présente Recommandation s'applique aux CN destinés à l'étalonnage, à la vérification et à l'ingénierie pour la production, la maintenance et le réglage de thermomètres à radiation de référence et de travail, les instruments thermographiques et les radiomètres dans la gamme de température -50 °C à $+2500\text{ °C}$; elle décrit les méthodes et procédures à utiliser pour leur étalonnage et leur vérification.

2 Termes, définitions, unités et références

2.1 Termes et définitions généraux

2.1.1 accréditation (ISO/IEC 17000:2004; 5.6) [1]¹

attestation délivrée par une tierce partie, ayant rapport à un organisme d'évaluation de la conformité, constituant une reconnaissance formelle de la compétence de ce dernier à réaliser des activités spécifiques d'évaluation de la conformité

2.1.2 étalonnage (OIML V2-200:2012, 2.39) [2]

opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication

2.1.3 certification (ISO/IEC 17000:2004, 5.5) [1]

attestation délivrée par une tierce partie, ayant rapport à un organisme d'évaluation de la conformité, constituant une reconnaissance formelle de la compétence de ce dernier à réaliser des activités spécifiques d'évaluation de la conformité

2.1.4 erreur maximale tolérée (OIML V2-200:2012; 0.05) [2]

valeur extrême de l'erreur de mesure, par rapport à une valeur de référence connue, qui est tolérée par les spécifications ou règlements pour un mesurage, un instrument de mesure ou un système de mesure donné

2.1.5 vérification (OIML V2-200:2012; 2.44) [2]

fourniture d'une preuve objective qu'un objet donné remplit une exigence spécifique
confirmation attestant que les performances ou les exigences légales d'un système de mesure sont remplies

¹ Voir bibliographie dans l'Annexe C

2.2 Termes et définitions spécifiques

2.2.1 incertitude tolérée U_{pBB}

incertitude élargie à un niveau de confiance spécifié ($p = 0,95$ ou $p = 0,99$) déclaré dans la documentation technique, avec laquelle le corps noir est considéré être approprié à l'application prévue. Le calcul de l'incertitude type $u_{pBB} = U_{pBB}/k(p)$ se base soit sur $k(p = 0,95) = 2$ soit sur $k(p = 0,99) = 3$

2.2.2 instabilité thermique, T_{ki}

instabilité de la température du corps noir maintenue [ou « contrôlée »] dans un mode de température stationnaire spécifié

2.2.3 dérive de température, T_d

dérive de température du corps noir pendant son fonctionnement dans un mode de température stationnaire spécifié

2.2.4 temps de transition, t_t

temps requis par le corps noir pour passer d'un mode de température stationnaire à un autre

2.2.5 temps de préchauffage, t_w

temps écoulé entre la mise en marche du corps noir et le moment où ce dernier atteint le mode de température stationnaire de service spécifié, permettant alors de déterminer les caractéristiques métrologiques du corps noir

2.2.6 capteur de contact démontable

capteur thermométrique de contact pouvant être retiré du corps noir sans qu'un démontage soit nécessaire, à des fins d'étalonnage et/ou de vérification séparé(e)

2.2.7 capteur de contact à assemblage permanent

capteur de contact d'un thermomètre intérieur ou extérieur ne pouvant pas être retiré du corps noir sans démonter ce dernier

2.2.8 thermomètre intégré dans le corps noir

capteur intégré relié à un appareil intérieur ou extérieur ayant un signal de sortie (montrant l'appareil ou l'interface ou le transmetteur transformant un signal du capteur en un signal électrique normal) en corrélation avec la température de rayonnement du corps noir

2.2.9 pyromètre

thermomètre utilisant le rayonnement optique d'une source et indiquant les valeurs de température qui sont étalonnées et traçables aux étalons (inter)nationaux ²

2.2.10 comparateur pyrométrique

appareil utilisant le rayonnement optique des sources et indiquant leurs différences de température sans traçabilité requise (voir 2.1.10)

2.2.11 émissivité

rapport entre la radiance d'une substance et la radiance d'un corps noir porté à la même température que la substance

² Dans cette Recommandation, le terme « pyromètre » est synonyme de « thermomètre à radiation ».

2.2.12 émissivité effective

émissivité apparente de la cavité d'un corps noir ou de la surface plane d'un corps noir. Devront être pris en compte l'émissivité intrinsèque de la surface, le facteur géométrique, la répartition de température et la radiation thermique ambiante

2.2.13 sélectivité spectrale

plage de longueur d'ondes à laquelle les spécifications du corps noir s'appliquent

3 Description de la catégorie d'instrument**corps noir (CN)**

source de rayonnement thermique avec une émissivité effective ε proche de 1 (en règle générale, $\varepsilon \geq 0,95$ pour les radiateurs avec cavité de rayonnement et $\varepsilon \geq 0,9$ pour les radiateurs avec surface plane étendue)

4 Unités de mesure

Dans cette Recommandation, on utilise les degrés Celsius (°C) ou le Kelvin (K) pour indiquer une température ou une différence de température (dérive, instabilité, etc.).

5 Exigences métrologiques et caractéristiques testées des corps noirs (CN)

Lors des essais d'étalonnage et de vérification, on déterminera les caractéristiques métrologiques des CN mentionnées ci-dessous :

- a) Gamme de température (ou valeurs fixes);
- b) Taille de la surface de rayonnement du CN;
- c) Temps de préchauffage requis par le CN pour atteindre le mode stationnaire spécifié au niveau minimum et maximum de la plage de température de service du CN;
- d) Temps requis par le CN pour passer d'un mode de température stable à un autre;
- e) Dérive de température pendant le service dans les modes de températures stables spécifiés;
- f) Instabilité du contrôle thermique aux niveaux spécifiés;
- g) Corrections apportées aux lectures du thermomètre intégré dans le CN (ou signal de sortie);
- h) Incertitude élargie de la température du CN à un niveau de confiance spécifié.

6 Exigences techniques pour les corps noirs**6.1 Types de corps noirs**

6.1.1 Corps noirs dont la surface de rayonnement est composée d'une cavité ou d'une surface plane.

6.1.2 Les corps noirs sont conçus pour un fonctionnement avec des points fixes de température (corps noirs à points fixes) ou pour une gamme de température variable (corps noirs à température variable) et doivent être équipés d'un système de réglage de température.

6.1.3 Il existe plusieurs catégories de corps noirs, dépendant de la méthode de mesure de température de rayonnement

- Corps noirs avec capteurs de contact démontables;
- Corps noirs avec capteurs de contact à installation fixe, soit intégrés dans le système automatique de réglage de température, soit fonctionnant hors ligne;

- Corps noirs avec capteurs sans contact, soit intégrés dans le système automatique de réglage de température, soit fonctionnant hors ligne.

6.1.4 Les corps noirs peuvent être portables ou installés de manière fixe.

6.1.5 Exigences imposées à la conception des corps noirs

Les corps noirs doivent être équipés d'un dispositif de contrôle thermique, d'un système automatique de réglage thermique et d'un affichage de température et/ou d'un terminal pour un signal de sortie (analogique ou numérique) en corrélation avec la valeur de température du corps noir.

6.1.6 Il est souhaitable (et requis pour la vérification) que les caractéristiques suivantes du corps noir soient indiquées dans la documentation technique (désignée ci-après par l'abréviation « DT ») :

- a) la plage de température de service (ou valeurs fixes);
- b) la surface de rayonnement;
- c) l'instabilité thermique;
- d) la dérive;
- e) l'émissivité effective;
- f) la sélectivité spectrale;
- g) l'incertitude tolérée de la température du CN;
- h) le temps de préchauffage;
- i) le temps de transition; et
- j) le facteur de correction ou la valeur des lectures du thermomètre du corps noir.

Toutes les valeurs indiquées ci-dessus sont les résultats des mesures. On devra mentionner clairement l'incertitude élargie associée $k = 2$, ou plus fréquemment l'intervalle des valeurs minimale et maximale spécifiant une distribution de probabilité rectangulaire.

Si l'une des caractéristiques n'est pas mentionnée dans la DT, sa valeur réelle ainsi que l'incertitude élargie $k = 2$ associée peuvent être définies lors de l'étalonnage et ne sont pas contrôlées lors de la vérification.

La principale tâche pendant l'étalonnage de la température du corps noir consiste à déterminer le facteur de correction ou la valeur des lectures d'un thermomètre intégré dans le corps noir, associée à l'incertitude élargie appropriée et à une déclaration claire du facteur de couverture ou la probabilité de couverture $p = 0,95$ ou $p = 0,99$ ayant été utilisé(e) pour le calcul.

Note 1: Parmi les caractéristiques mentionnées ci-dessus, l'émissivité effective est la plus difficile à évaluer (étalonner, vérifier) séparément, car elle dépend considérablement de la conception du corps noir, de la forme de la surface de rayonnement et des matériaux utilisés.

C'est pourquoi il est impossible, dans le cadre de cette Recommandation qui ne traite pas des différences technologiques et de construction des corps noirs, de réglementer les exigences spécifiques et les opérations permettant de calculer ou de mesurer cette quantité. L'émissivité effective devra être prise en compte dans la valeur de correction appliquée aux lectures du thermomètre intégré dans le corps noir et déterminée par la comparaison avec un corps noir étalon traçable à l'échelle de température internationale.

Note 2: La sélectivité spectrale du corps noir dépend aussi considérablement de la conception du corps noir, de la forme de la surface de rayonnement et des matériaux utilisés. Cette dépendance est clairement définie pour les corps noirs ayant un élément de rayonnement de type cavité et peut être importante pour les corps noirs avec surface de rayonnement à revêtement spécial, garantissant une grande émissivité spectrale. Dans le second cas, il est

nécessaire de connaître la courbe spectrale de dépendance d'émissivité (ou réflexion) sur la longueur d'onde et cette courbe doit être indiquée dans les spécifications.

- 6.1.7** D'une manière générale, le résultat de l'étalonnage de la température du corps noir doit être indiqué pour une probabilité de couverture $p = 0,95$ en utilisant un facteur de couverture $k(p = 0,95) = 2$. Pour certaines applications, les réglementations relatives à l'utilisation d'un corps noir définissent une probabilité de couverture supérieure $p = 0,99$ avec un facteur de couverture correspondant $k(p = 0,99) = 3$. C'est pourquoi l'incertitude élargie adéquate est déterminée par l'incertitude type, multipliée par le facteur de couverture connexe $k(p)$.
- 6.1.8** S'il est prévu d'utiliser un corps noir comme étalon pour effectuer des mesures de température, la DT mentionnera également l'incertitude tolérée pour la température du corps noir.

7 Contrôles métrologiques

Cet élément spécifiera les exigences concernant les conditions d'étalonnage et de vérification.

7.1 Procédure de vérification et d'étalonnage

La procédure de vérification et d'étalonnage doit se dérouler dans un environnement intérieur stable dans les conditions de mesure (plage de température et d'humidité relative) acceptées dans chaque pays, sauf si d'autres conditions sont spécifiées par le client; les conditions doivent être notées dans le certificat d'étalonnage. Un corps noir ne devra pas être affecté par des chocs, vibrations, champs électromagnétiques externes ou sources de rayonnement externes qui pourraient influencer les lectures des instruments de mesure.

7.2 Accréditation

Il est préférable que l'étalonnage soit effectué dans un laboratoire d'étalonnage accrédité. La nécessité d'une accréditation dépend de la législation nationale.

8 Méthodes d'étalonnage et de vérification des corps noirs : format du rapport

8.1 Méthodes

8.1.1 Méthodes d'étalonnage et de vérification

La température réelle $T_x = c \cdot (Y_x + \Delta Y_x)$ mesurée par un pyromètre est calculée à partir de la lecture Y_x et d'une valeur de correction ΔY_x . Le facteur $c \equiv 1$ avec une valeur définie comme unité convertit la lecture Y_x à partir d'unités arbitraires $[Y_x]$ en l'unité $[T_x]$ requise pour la température. Ainsi, l'unité du facteur $[c] = [T_x]/[Y_x]$ est exactement le rapport entre les unités de température et la lecture.

Les symboles « T_x » et « Y_x » représentent les températures réelles et les lectures des pyromètres spécifiés pour le dispositif par l'indice « X ». Les indices « b » et « sb » remplaçant l'indice « X » se rapportent au corps noir devant être étalonné et à un corps noir étalon utilisé comme référence, tandis que les indices « p » et « sp » se rapportent à un comparateur pyrométrique externe et à un pyromètre étalon utilisé comme référence.

L'étalonnage d'un corps noir attribue une valeur à la valeur de correction ΔY_b apportée au thermomètre intégré dans le corps noir avec une incertitude type combinée associée $u(\Delta Y_b)$. Pour terminer, l'incertitude type est convertie en incertitude élargie $U(\Delta Y_b) = k \cdot u(\Delta Y_b)$ en multipliant le facteur de couverture k par les valeurs $k = 2$ ou $k = 3$, selon la fraction p de probabilité définie pour l'application. Il existe deux méthodes fondamentales pour déterminer cette valeur de correction :

- La mesure directe, avec laquelle la traçabilité à l'étalon national est obtenue à l'aide d'un pyromètre étalon externe étalonné;
- La méthode de comparaison avec laquelle la traçabilité à l'étalon national est obtenue par comparaison directe entre le corps noir essayé et le corps noir étalon étalonné avec la traçabilité à l'étalon national selon ITS-90.

8.1.2 Mesure directe : La température du corps noir $T_b = c \cdot (Y_b + \Delta Y_b)$ indiquée par les lectures Y_b du thermomètre intégré dans le corps noir est mesurée par un pyromètre étalon externe $T_{sp}(T_b) = c \cdot (Y_{sp}(T_b) + \Delta Y_{sp})$, qui est certifié avec la valeur de correction . En ce cas, la valeur de correction ΔY_b du thermomètre du corps noir indique :

$$\Delta Y_b = T_{sp}(T_b)/c - Y_b \text{ avec } \left\{ \begin{array}{l} T_{sp}(T_b) = c \cdot (Y_{sp}(T_b) + \Delta Y_{sp}) \end{array} \right. \quad (1)$$

avec :

$Y_b, \Delta Y_b$	la lecture et la valeur de correction pour le thermomètre intégré dans le corps noir ;
$T_b, T_{sp}(T_b)$	la température du corps noir, indiquée par le pyromètre étalon;
$c \equiv 1$	le facteur servant à faire concorder les unités;
$Y_{sp}(T_b), \Delta Y_{sp}$	la lecture et la valeur de correction du pyromètre étalon.

8.1.3 Méthode de substitution : La température du corps noir $T_b = c \cdot (Y_b + \Delta Y_b)$ indiquée par son thermomètre intégré est mesurée par le comparateur pyrométrique $T_p(T_b) = c \cdot (Y_p(T_b) + \Delta Y_p)$. La température $T_{sb} = c \cdot (Y_{sb} + \Delta Y_{sb})$ d'un corps noir étalon indiquée par son thermomètre intégré est également mesurée par le comparateur pyrométrique $T_p(T_{sb}) = c \cdot (Y_p(T_{sb}) + \Delta Y_p)$. Une combinaison des deux équations annule la valeur de correction ΔY_p et la valeur de correction ΔY_b du thermomètre du corps noir est :

$$\Delta Y_b = T_{sb}/c - Y_b + \Delta Y_p(T_b) \text{ avec } \left\{ \begin{array}{l} T_{sb} = c \cdot (Y_{sb} + \Delta Y_{sb}) \\ \Delta Y_p(T_b) = Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb}) \end{array} \right. \quad (2)$$

avec :

$Y_b, \Delta Y_b$	la lecture et la valeur de correction du thermomètre intégré dans le corps noir;
T_{sp}	la température du corps noir étalon;
$c \equiv 1$	le facteur servant à faire concorder les unités;
$Y_{sb}, \Delta Y_{sb}$	la lecture et la valeur de correction du thermomètre intégré dans le corps noir étalon;
$\Delta Y_p(T_b)$	la différence des indications du comparateur pyrométrique externe;
$Y_p(T_b), Y_p(T_{sb})$	l'indication du comparateur pyrométrique pour le corps noir et pour le corps noir étalon.

8.2 Opérations et moyens d'étalonnage et de vérification des corps noirs

8.2.1 Les opérations et instruments de mesure devant être utilisés pour l'étalonnage et la vérification sont indiqués dans la liste du tableau 1

Tableau 1 : Opérations et instruments de mesure

No.	Opération	Article	Instruments de vérification et leurs caractéristiques ¹	Obligation d'une procédure de vérification	
				Initiale	Périodique
1	2	3	4	5	6
1	Examen externe	8.3	-	Oui	Oui
2	Essais	8.4	-	Oui	Oui
3	Évaluation de la géométrie de rayonnement du corps noir	8.5	- Instrument de mesure linéaire (longueur) avec un facteur d'échelle servant à mesurer la taille de la surface de rayonnement avec une incertitude inférieure à 5 %.	Oui	Non
4	Évaluation du temps de préchauffage, de la dérive en température et du temps de transition lorsque le corps noir passe d'un mode stationnaire à un autre	8.6	- Chronomètre; - Compensateur pyrométrique, dont la gamme de mesures de température correspond à celle du corps noir et dont l'incertitude combinée u_{p1} résulte des contributions d'instabilité et de la résolution limitée du thermomètre, doit être $u_{p1} \leq u_{pBB} / 3$ - Le champ de vision doit être plus petit que les ouvertures de sortie du corps noir étalon et des corps noirs essayés; - Un dispositif pour mesurer le signal de sortie du thermomètre du corps noir (si nécessaire), dont la contribution d'incertitude u_{p2} de la résolution limitée du thermomètre doit être $u_{p2} \leq u_{pBB} / 3$	Oui	Oui
5	Évaluation de l'instabilité du maintien de la température du corps noir	8.7	Équipement de l'article 4 du présent tableau	Oui	Oui
6	Évaluation de la correction des lectures du capteur du corps noir devant être étalonné (vérifié)	8.8	- corps noir étalon avec température variable dans une gamme de températures de mesure correspondante ou avec des températures à points fixes (dépend du corps noir essayé); l'incertitude combinée de toutes les caractéristiques spécifiées dans les lignes 3 à 7 du présent tableau est applicable comme suit $u_{p3} \leq u_{pBB} / 3$; - L'émissivité doit être $\varepsilon \geq 0,99$; - Compensateur pyrométrique avec une gamme de mesures de températures correspondante; son incertitude combinée u_{p4} à partir des	Oui	Oui

No.	Opération	Article	Instruments de vérification et leurs caractéristiques ¹¹	Obligation d'une procédure de vérification	
				Initiale	Périodique
1	2	3	4	5	6
			contributions d'instabilité et de la résolution de température doit être applicable comme suit : $u_{p4} \leq u_{pBB}/3$; son champ de vision doit être inférieur aux ouvertures de sortie du corps noir étalon et du corps noir essayé; l'effet de la taille de la source du comparateur pyrométrique devra être suffisamment restreint pour rendre l'effet des différentes tailles d'ouverture négligeable; - Un dispositif pour mesurer ou décoder un signal de sortie (si nécessaire) avec une résolution $\delta Y \leq u_{pBB}/3$.		
7	Calcul de l'incertitude élargie de la température du corps noir	8.9	Le calcul de l'incertitude devra être effectué conformément à l'annexe A.	Oui	Oui

8.2.2 Les instruments de mesure spécifiés dans le tableau 1 seront étalonnés et traçables aux étalons nationaux. Les documents correspondants relatifs à leur vérification ou à leur étalonnage devront être fournis

Le corps noir étalon et le thermomètre à radiation étalon seront étalonnés par la température de rayonnement traçable aux étalons nationaux conformément à l'échelle de température internationale (ITS-90).

8.2.3 Les instruments de mesure sont préparés pour un fonctionnement conformément à la documentation en vigueur.

8.2.4 Les thermomètres démontables, intégrés dans le corps noir devront être accompagnés de certificats d'étalonnage ou de vérification valides, basés sur le type de capteur.

8.3 Examen externe

Les points suivants devront être vérifiés pendant l'examen externe :

8.3.1 Conformité de l'intégralité du corps noir et de l'équipement associé aux exigences de la documentation relative applicable.

8.3.2 Conformité du corps noir aux exigences de sécurité spécifiées dans la DT.

8.3.3 Absence de dommage externe sur le corps noir étalonné (vérifié) et l'équipement associé qui risque d'affecter de manière défavorable sa performance métrologique et ses fonctions principales

8.3.4 Un corps noir qui n'est pas conforme aux exigences de 8.3.3 ne sera pas soumis à l'étalonnage ou à la vérification.

8.4 Essais de fonctionnement

8.4.1 Brancher le corps noir sur une alimentation électrique et essayer son fonctionnement conformément à la documentation en vigueur.

8.4.2 Tout corps noir ayant révélé un défaut pendant les essais (par exemple, inaptitude à reconnaître / lire le contenu de l’affichage, instabilité apparente, etc.) sera exclus de tout étalonnage (ou vérification) ultérieur(e).

8.5 Évaluation de la géométrie de rayonnement du corps noir

8.5.1 Le diamètre de sortie de la grandeur de rayonnement du corps noir et la profondeur de cavité (dans le cas d’un corps noir à cavité)³ devront être mesurés une fois. La différence entre les valeurs mesurées et les valeurs spécifiées dans la documentation technique ne dépasseront pas les limites fixées à $\pm 5\%$ par rapport aux valeurs déclarées.

8.5.2 Si les différences relatives, calculées conformément au point 8.5.1, dépassent les limites de $\pm 5\%$, le certificat d’étalonnage (vérification) devra spécifier les dimensions réelles et recommandera au client de modifier la documentation technique et de mettre à jour (vérifier) la valeur d’émissivité.

8.6 Évaluation du temps de préchauffage, de la dérive en température et du temps de transition lorsque le corps noir passe d’un mode stationnaire à un autre

8.6.1 Le temps de préchauffage du corps noir et sa dérive en température sont interdépendants. C’est pourquoi ces paramètres seront déterminés simultanément.

8.6.2 Le temps de préchauffage du corps noir à la température limite inférieure est déterminé par le réglage de la valeur correspondant à la limite de température inférieure sur le dispositif de contrôle thermique de l’unité de contrôle du corps noir. Le corps noir est mis en marche, dans le mode stationnaire spécifié, conformément à la documentation technique.

8.6.3 Lorsque le corps noir atteint le mode stationnaire après le temps t_W , sa température de radiance est déterminée toutes les (10 à 15) secondes pendant 15 minutes, les lectures du dispositif de mesure de température de radiance ayant une résolution suffisante (voir tableau 1). En même temps, la lecture indiquée par le thermomètre intégré dans le corps noir est également enregistrée.

8.6.4 Les valeurs moyennes de température sont déterminées en fonction des résultats de mesures obtenues pendant un premier cycle de cinq minutes, un second cycle de cinq minutes et un troisième cycle de cinq minutes. La différence entre les valeurs de température moyennes ne devra pas dépasser la valeur de dérive en température spécifiée dans la documentation technique.

8.6.5 Le calcul est effectué pour les valeurs de température de radiance et pour les températures indiquées par le thermomètre intégré dans le corps noir.

8.6.6 Si, pendant la procédure de vérification, la différence maximale entre les valeurs de température moyennes du corps noir est supérieure à la valeur de dérive en température, le corps noir est considéré comme défectueux et refusé.

8.6.7 Le temps de préchauffage du corps noir est déterminé avec plus de précision par des mesures supplémentaires effectuées pendant la procédure d’étalonnage. À cet effet, les opérations décrites aux points 8.6.3–8.6.4 sont répétées jusqu’à ce que la dérive en température mesurée devienne égale à la valeur spécifiée dans la documentation technique.

8.6.8 Si la valeur de dérive en température mesurée correspond à la valeur spécifiée dans la documentation technique, le temps de préchauffage du corps noir étant inférieur à $2 \times t_W$, une nouvelle valeur de temps de préchauffage du corps noir est indiquée dans la documentation technique

³ Noter qu’il n’est pas possible d’insérer un instrument dans la cavité du corps noir, car cela endommagerait le revêtement

- 8.6.9** Si la valeur de dérive mesurée dépasse la valeur spécifiée dans la documentation technique avec un temps de préchauffage du corps noir égal à $2 \times t_w$, le corps noir est considéré comme défectueux et refusé.
- 8.6.10** Le temps de transition du corps noir requis pour passer d'un mode stationnaire à un autre (tt) est déterminé par le réglage, sur le dispositif de contrôle thermique de l'unité du corps noir, de la valeur correspondant au prochain mode thermique du corps noir. Après expiration du temps spécifié dans la documentation technique (temps de transition entre un mode stationnaire et un autre), les opérations mentionnées aux points 8.6.2–8.6.6 sont répétées.
- 8.6.11** Le temps de transition requis par le corps noir pour passer au mode stationnaire lorsqu'il atteint la limite de température supérieure, est déterminé après avoir débranché le corps noir de la prise secteur et l'avoir laissé refroidir jusqu'à température ambiante. Ensuite, la valeur correspondant à la limite de température supérieure est réglée sur le dispositif de contrôle thermique de l'unité du corps noir. Le corps noir est remis en marche et, après expiration du temps de transition requis par le corps noir pour passer au mode stationnaire lorsqu'il atteint la limite de température supérieure (t_{w2}), les opérations décrites aux points 8.6.2–8.6.6 sont répétées, et les valeurs t_{w2} et $2 \times t_{w2}$ remplacent les valeurs t_w et $2 \times t_w$.

8.7 Évaluation de l'instabilité de contrôle thermique du corps noir

- 8.7.1** La valeur correspondant à la limite de température inférieure est paramétrée pour la méthode de régulation thermique de l'unité de contrôle du corps noir, puis le corps noir est ajusté à la valeur de température conformément au manuel d'instructions de service.
- 8.7.2** Lorsque le corps noir atteint le mode stationnaire, la valeur de température de rayonnement T_i est mesurée toutes les (10 à 15) secondes pendant (15 à 20) minutes par les lectures du dispositif de mesure thermique avec une résolution de minimum $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($\delta T \leq 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$).

La valeur de température moyenne T_a pendant la période $15 \leq t/\text{min} \leq 20$, l'écart type empirique $\sigma(T_i)$ de la valeur de température actuelle T_i et l'incertitude type de type B $u(T)$ sont calculées selon les formules suivantes :

$$T_a = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}; \quad u(T_a) = \frac{\sigma(T_i)}{\sqrt{n}}, \quad \text{avec} \quad \sigma(T_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_a)^2}{n-1}} \quad (3)$$

- avec
- T_a la valeur de température moyenne;
 - T_i le i -ème résultat de mesure de température;
 - n le nombre de lectures indépendantes;
 - $\sigma(T_i)$ l'écart type empirique des lectures;
 - $u(T_a)$ l'incertitude type de type B équivalant à l'écart type empirique de la moyenne des lectures.

- 8.7.3** Une procédure similaire est appliquée pour les valeurs de températures qui sont indiquées par le thermomètre intégré dans le corps noir.
- 8.7.4** Pour calculer une incertitude élargie, on utilise les plus grandes valeurs de températures moyennes, obtenues lors des actions décrites aux points 8.7.1–8.7.3.
- 8.7.5** L'incertitude élargie de l'instabilité de contrôle thermique dépend de la probabilité de confiance p , et est égale à l'écart type multiplié par le facteur de couverture k (par ex. $k = 2$ lorsque $p = 0,95$).

8.7.6 Si l'écart type excède la moitié de l'instabilité de contrôle thermique spécifiée dans la documentation technique, le corps noir sera considéré comme défectueux et refusé.

8.7.7 Les opérations décrites aux points 8.7.1–8.7.4 sont répétées pour le corps noir avec une température réglée sur les valeurs de température moyenne et maximale dans la plage de fonctionnement.

8.8 Évaluation de la correction à appliquer aux lectures du thermomètre intégré dans le corps noir

8.8.1 On détermine la correction devant être appliquée aux lectures du thermomètre intégré dans le corps noir en le comparant à un corps noir étalon avec un comparateur pyrométrique ou en mesurant directement sa température de radiance avec un thermomètre à radiation étalon.

Un corps noir étalon et un thermomètre à radiation étalon devront être étalonnés par le laboratoire d'étalonnage 4 avec une température de rayonnement traçable aux étalons nationaux conformément à l'échelle de température internationale (ITS-90)⁴.

8.8.2 On détermine la correction devant être apportée aux lectures du thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié) dans la gamme de températures basses ($-50 \leq T/^\circ\text{C} \leq +300$) en le comparant au corps noir étalon à l'aide d'un comparateur pyrométrique fonctionnant en plein rayonnement ou dans un intervalle spectral $8 \leq \lambda/\mu\text{m} \leq 14$, ou en mesurant directement sa température de radiance avec un thermomètre à radiation étalon fonctionnant dans un tel intervalle spectral⁵.

8.8.3 Le corps noir devant être étalonné (vérifié) est placé sur un banc d'essai relié à l'alimentation électrique et réglé sur le mode de température stationnaire inférieur spécifié.

8.8.4 Des comparaisons sont effectuées à l'aide d'un comparateur, en utilisant la méthode des signaux égaux⁶. Avec cette méthode, le comparateur est placé de telle manière que son axe optique se trouve dans l'axe du corps noir étalon et passe par le centre de son ouverture de rayonnement.

8.8.5 Ensuite, le comparateur est dirigé sur le corps noir essayé. La température du corps noir essayé est sélectionnée de manière à ce que le signal du comparateur soit égal au signal du corps noir étalon. La température du corps noir étalon et les lectures du thermomètre intégré dans le corps noir étalonné (vérifié) sont enregistrées. Les mesures sont répétées 10 fois. Les valeurs moyennes des températures du corps noir étalon et du thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié) sont calculées.

8.8.6 La correction apportée aux lectures du thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié) est déterminée comme la différence entre les valeurs de température moyenne des corps noirs étalons et étalonnés (vérifiés).

8.8.7 Lors de l'étalonnage du corps noir à température variable, le corps noir étalon et le corps noir devant être étalonné (vérifié) sont mis dans le mode de température stationnaire suivant et les opérations sont accomplies conformément aux points 8.8.3–8.8.6. Ces opérations sont répétées dans tous les modes de températures du corps noir spécifiés dans la DT (ou requis par le client).

⁴ Les laboratoires d'étalonnage doivent être accrédités conformément à la législation nationale.

⁵ Les gammes numériques de températures et la longueur d'ondes sont indiquées aux points 8.8.2, 8.8.12 et 8.8.14 à titre d'information.

⁶ Méthode dans laquelle les signaux du comparateur reçus du corps noir essayé et du corps noir étalon sont égaux.

- 8.8.8** Le nombre de modes de températures spécifiés pendant la vérification du corps noir à température variable peut être réduit à trois (températures minimale et maximale incluses).
- 8.8.9** Les valeurs de correction obtenues pendant l'étalonnage sont spécifiées dans le certificat d'étalonnage, si elles dépassent la moitié de la valeur d'incertitude élargie (tolérée) de la température du corps noir.
- 8.8.10** DT de plus de la moitié de la valeur d'incertitude élargie tolérée de la température du corps noir dans un mode de température, la correction sera révisée dans tous les modes de températures spécifiés du corps noir. Les nouvelles valeurs de correction obtenues devront être spécifiées dans la DT du corps noir de la même manière que pendant l'étalonnage.
- 8.8.11** Si les corrections sont déterminées au moyen d'un pyromètre étalon, elles sont calculées comme différence entre les lectures moyennes du pyromètre étalon et le thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié).
- 8.8.12** La correction des lectures du thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié) dans la gamme de températures moyennes ($300 \leq T/^{\circ}C \leq 1000$) est déterminée en comparant celui-ci au corps noir étalon au moyen de comparateurs pyrométriques à gamme spectrale partielle ou de pyromètres étalons avec deux ou trois gammes spectrales partielles, par ex. avec les gammes $2 \leq \lambda/\mu m \leq 5$ et $8 \leq \lambda/\mu m \leq 14$. Les opérations décrites aux points 8.8.3–8.8.11 sont réalisées pour chaque intervalle spectral⁷.
- 8.8.13** Si les corrections obtenues avec un intervalle spectral différent (dans un même mode de température) ne sont pas uniformes dans une demi-valeur de l'incertitude élargie admissible U_{pBB} , on en établira la moyenne pour tous les intervalles spectraux et on prendra la composante d'incertitude de température, u_{si} (une incertitude type), comme écart maximum de correction par rapport à sa valeur moyenne. On obtient $u_{si} = U_{pBB}$.
- 8.8.14** Les corrections des lectures du thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié) à la température $T \geq 800^{\circ}C$ peuvent être déterminées en le comparant avec un corps noir étalon au moyen d'un comparateur spectral avec une bande spectrale étroite dépendant de l'application prévue pour le corps noir devant être étalonné (vérifié). Pendant la vérification, il est permis d'utiliser un comparateur pyrométrique ou un thermomètre à radiation étalon avec un intervalle spectral partiel d'un comparateur spectral⁸.
- 8.8.15** Lorsque le corps noir devant être étalonné (vérifié) est destiné à étalonner des thermomètres à radiation d'un type spécial, il est possible d'étalonner (vérifier) le corps noir en utilisant le même type de thermomètre à radiation étalonné s'il est conforme aux exigences du tableau 1, indépendamment de la gamme de températures.
- 8.8.16** Si le corps noir devant être étalonné (vérifié) doit être utilisé pour étalonner des thermomètres à radiation avec des lentilles à grand angle, il faudra déterminer dans quelle mesure la correction dépend de l'angle de visée⁹. À cet effet, les opérations décrites aux points 8.8.2–8.8.15 sont réalisées pour chaque angle de visée dépendant du mode de température. La valeur de correction moyenne est déterminée pour tous les angles de visée. Si la correction obtenue est supérieure à la moitié de la valeur d'incertitude élargie admissible, l'écart maximum des corrections par rapport à la valeur moyenne pour tous les angles de visée est pris en compte comme la composante d'incertitude u_{va} . On obtient $u_{va} = U_{pBB}$.

⁷ Voir note de bas de page concernant le point 8.8.2

⁸ Voir note de bas de page concernant le point 8.8.2.

⁹ L'angle de visée est l'angle compris entre la ligne d'observation et la ligne normale de la surface de rayonnement.

8.8.17 Pour la correction, la dépendance de la non-uniformité de la température de rayonnement T_i sur la surface de rayonnement sera déterminée uniquement pour les corps noirs ayant une surface de rayonnement étendue. À cet effet, la valeur de correction moyenne est déterminée comme étant la différence maximale entre les valeurs de température de rayonnement T_i prélevées en 5 points de la surface (au centre et sur la périphérie) et leur valeur moyenne. Cela est pris en compte comme composante d'incertitude : $u_{ts} = \max_{1 \leq i \leq 5} \left(T_i - \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 T_j \right)$.

Ces mesures sont effectuées conformément aux points 8.8.2–8.8.13. Dans ce cas, l'influence de l'angle de visée sur la correction n'est pas déterminée. Une telle correction, comme règle pratique, a un impact maximum à une température $T \leq 300$ °C.

8.9 Évaluation de l'incertitude de la température du corps noir

8.9.1 Les composantes de base du budget d'incertitude lors de l'étalonnage (vérification) d'une température de corps noir sont indiquées dans la liste de l'annexe A et sont classées selon les deux méthodes suivantes :

a) Pour la méthode de l'option d'étalonnage (vérification) par mesure directe de la température du corps noir essayé en utilisant le pyromètre de référence :

- Incertitude de température par rapport au pyromètre de référence (le thermomètre à radiation étalon);

b) Pour la méthode de l'option d'étalonnage (vérification) par comparaison à un corps noir étalon servant de référence et utilisation d'un comparateur pyrométrique :

- incertitude de température par rapport au corps noir étalon servant de référence;
- incertitude due au comparateur pyrométrique.

8.9.2 L'incertitude élargie de la valeur de température du corps noir devant être vérifié, qui est obtenue selon la méthode décrite dans l'annexe A, ne devra pas dépasser l'incertitude correspondante spécifiée dans la DT.

8.9.3 En règle générale, l'intervalle d'étalonnage est de un à deux ans pour les corps noirs avec thermomètres à installation fixe ou, pour les corps noirs avec thermomètres démontables, individuel, sauf spécifications divergentes dans la DT.

8.10 Expression des résultats

8.10.1 Les résultats d'étalonnage et de vérification doivent être inscrits dans les procès-verbaux. Les formulaires correspondants se trouvent dans l'annexe B.

8.10.2 Si les résultats de vérification ou d'étalonnage sont favorables, un document de vérification ou d'étalonnage (certificat, rapport) est établi. Si les résultats de vérification ou d'étalonnage sont défavorables, un document de vérification ou d'étalonnage (certificat, rapport) est établi, mentionnant clairement l'inutilisabilité de l'instrument, ainsi que les raisons ayant été identifiées.

8.10.3 Le système de contrôle métrologique légal appliqué sur un corps noir diffère considérablement dans chaque pays membre. Par conséquent la procédure pratique, utilisée pour rendre compte du résultat de vérification ou d'étalonnage et pour accorder la permission d'utiliser l'instrument en établissant un certificat ou une marque de vérification, est spécifiée par l'autorité nationale dans chaque état membre.

8.10.4 Le cas échéant, les données et paramètres suivants seront spécifiés dans les certificats d'étalonnage ou de vérification :

- a) dimensions de la surface de rayonnement du corps noir formant l'étendue géométrique effective (émissivité, surface et angle solide, dimensions de la cavité dans le cas d'un corps noir à cavité);
- b) temps de préchauffage du corps noir;
- c) temps de transition requis par le CN pour passer d'un mode de température stationnaire à un autre;
- d) dérive de température du corps noir;
- e) instabilité du contrôle de température du corps noir dans le mode stationnaire spécifié;
- f) correction de l'indication du thermomètre intégré dans le corps noir;
- g) incertitude élargie de la valeur de température du corps noir;
- h) positions du système de contrôle de température (si indiquées) du corps noir dépendant de la température (sous forme de tableau);
- i) indication de l'utilisation du corps noir comme référence;
- j) période de validité de la vérification du corps noir (uniquement pour la vérification);
- k) le cas échéant, les données et paramètres suivants seront spécifiés dans les certificats d'étalonnage ou de vérification :
 - i. la gamme / les sous-gammes de températures de service du corps noir;
 - ii. la gamme / les sous-gammes de températures dans laquelle / lesquelles le corps noir est étalonné / vérifié / certifié

Annexe A – Évaluation de l'incertitude de température du corps noir (pour information)

A.1 Contribution d'incertitude due à la lecture du thermomètre intégré dans le corps noir

La contribution d'incertitude résultant de la lecture du thermomètre intégré dans le corps noir est indépendante de la méthode d'étalonnage (vérification).

La contribution d'incertitude résultant des lectures Y_b du thermomètre intégré dans le corps noir est déterminée comme maximum, soit des lectures indépendantes de la résolution $\pm \delta Y_b$ soit de l'écart type empirique $\sigma(Y_b)$ d'un nombre n de lectures indépendantes :

$$u(Y_b) = \max(\delta Y_b / \sqrt{3}, \sigma(Y_b) / \sqrt{n}) \quad (4)$$

avec :

- $u(Y_b)$ l'incertitude type de la lecture du thermomètre intégré dans le corps noir;
- δY_b la résolution du thermomètre intégré dans le corps noir;
- $\sigma(Y_b)$ l'écart type empirique de la lecture;
- n le nombre de lectures indépendantes.

Les lectures sont modifiées par une différence possible $\Delta T_{a,b} = T_{a,b} - T_{a,b,0}$ entre la valeur réelle $T_{a,b}$ de la température ambiante et la valeur $T_{a,b,0}$ indiquée sur le certificat. La petite correction $|\alpha_b \cdot \Delta T_{a,b}| \ll 1$ est le produit de la différence de température ambiante $\Delta T_{a,b}$ et du coefficient de température relative α_b . Dans la DT du corps noir, la valeur α_b est indiquée avec l'incertitude élargie associée $U(\alpha_b)$ et le facteur de couverture $k(p)$. Il est donc possible de calculer l'incertitude type $u(\alpha_b) = U(\alpha_b) / k(p)$. Les lectures corrigées $Y_b \cdot (1 + \alpha_b \cdot \Delta T_{a,b})$ sont le produit avec un facteur de correction :

$$u_b = c \cdot u(Y_b \cdot (1 + \alpha_b \cdot \Delta T_{a,b})) = c \cdot \sqrt{u^2(Y_b) + Y_b^2 \cdot (u^2(\alpha_b) \cdot \Delta T_{a,b}^2 + [\alpha_b^2 + u^2(\alpha_b)] \cdot u^2(\Delta T_{a,b}))} \quad (5)$$

- avec : u_b l'incertitude type de la température du corps noir indiquée par son thermomètre intégré;
- $c \equiv 1$ le coefficient de sensibilité;
- Y_b la lecture du thermomètre intégré dans le corps noir;
- α_b le coefficient de température relative;
- $\Delta T_{a,b}$ la différence de température ambiante.

À condition que la différence de température ambiante soit inférieure à l'incertitude associée $|\Delta T_{a,b}| < u(\Delta T_{a,b})$, on utilisera le terme d'ordre supérieur indiqué entre parenthèses.

A.2 Contribution d'incertitude des instruments étalons de mesure

A.2.1 Option d'étalonnage (vérification) par comparaison, à l'aide d'un comparateur pyrométrique, avec un corps noir étalon servant de référence, telle que décrite par le modèle d'évaluation suivant :

$$\Delta Y_b = T_{sb} / c - Y_b + \Delta Y_p(T_b)$$

$$u(\Delta Y_b) = \sqrt{\frac{1}{c^2} u^2(T_{sb}) + u^2(Y_b) + u^2(\Delta Y_p(T_b))} \quad (6)$$

avec :

$Y_b, \Delta Y_b$	la lecture et la valeur de correction du thermomètre intégré dans le corps noir;
T_{sb}	la température du corps noir étalon;
$c \equiv 1$	le coefficient de sensibilité;
$u(Y_b)$	l'incertitude type associée à Y_b ;
$\Delta Y_p(T_b)$	la différence des indications fournies par le comparateur pyrométrique externe.

A.2.2 Incertitude de température par rapport au corps noir étalon servant de référence

$u_{sb} = u(T_{sb})$ – inclut l'incertitude de son étalonnage, son instabilité, son incertitude due à son positionnement par rapport à l'axe optique du comparateur, l'incertitude des instruments de mesure utilisés pour maintenir les conditions de son fonctionnement, et l'incertitude due à l'effet des conditions ambiantes.

On l'évalue sur la base des modèles suivants :

La température T_{sb} du corps noir étalon est évaluée à partir de la lecture Y_{sb} et la valeur de correction ΔY_{sb} est modifiée pour les petits effets de la température ambiante $(1 + \alpha_{sb} \cdot \Delta T_{a, sb})$ et du vieillissement $(1 + \beta_{sb} \cdot \Delta t_{sb})$, respectivement.

$$T_{sb} \Rightarrow c \cdot (Y_{sb} \cdot (1 + \alpha_{sb} \cdot \Delta T_{a, sb}) + \Delta Y_{sb} \cdot (1 + \beta_{sb} \cdot \Delta t_{sb})) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} |\alpha_{sb} \cdot \Delta T_{a, sb}| \ll 1 \\ |\beta_{sb} \cdot \Delta t_{sb}| \ll 1 \end{cases}$$

(7)

$$u_{sb} = u(T_{sb}) = c \cdot \sqrt{u^2(\Delta Y_{sb}) + \Delta Y_{sb}^2 \cdot (\Delta t_{sb}^2 \cdot u^2(\beta_{sb}) + \beta_{sb}^2 \cdot u^2(\Delta t_{sb})) + u^2(Y_{sb}) + Y_{sb}^2 \cdot (\Delta T_{a, sb}^2 \cdot u^2(\alpha_{sb}) + [\alpha_{sb}^2 + u^2(\alpha_{sb})] \cdot u^2(\Delta T_{a, sb}))}$$

avec :

T_{sb}	la température du corps noir étalon;
Y_{sb}	la lecture du corps noir étalon;
$c \equiv 1$	le coefficient de sensibilité;
ΔY_{sb}	la valeur de correction du corps noir étalon;
α_{sb}	le coefficient de température relative du corps noir étalon;
$\Delta T_{a, sb}$	la différence de température ambiante;
β_{sb}	le coefficient de vieillissement relatif du corps noir étalon;
Δt_{sb}	le temps écoulé depuis l'étalonnage, l'incertitude type.

$u(\Delta Y_{sb}) = U(\Delta Y_{sb}) / k(p)$ est l'incertitude associée à la valeur de correction du corps noir étalon résultant de l'étalonnage, certifiée comme incertitude élargie $U(\Delta Y_{sb})$ avec un facteur de couverture $k(p)$. Pour une stabilité à long terme, la contribution d'incertitude $\Delta Y_{sb}^2 \cdot (\Delta t_{sb}^2 \cdot u^2(\beta_{sb}) + \beta_{sb}^2 \cdot u^2(\Delta t_{sb}))$ est évaluée à

partir du coefficient de vieillissement relatif β_{sb} avec l'incertitude associée $u(\beta_{sb}) = U(\beta_{sb})/k(p)$ et le facteur de couverture $k(p)$ indiqué dans la DT. La période de temps Δt_{sb} écoulée depuis le dernier étalonnage est déterminée par le certificat et généralement, l'incertitude associée $u(\Delta t_{sb})$ est négligeable.

$u(Y_{sb}) = \max(\delta Y_{sb}/\sqrt{3}, \sigma(Y_{sb})/\sqrt{n})$ est l'incertitude résultant des lectures du thermomètre intégré dans le corps noir étalon. Elle est déterminée comme la valeur maximale résultant soit de la résolution $\pm \delta Y_{sb}$ soit de l'écart type empirique $\sigma(Y_{sb})$ d'un nombre n de lectures indépendantes.

La contribution d'incertitude des conditions ambiantes, comme la température ambiante $Y_{sb}^2 \cdot (\Delta T_{a, sb}^2 \cdot u^2(\alpha_{sb}) + [\alpha_{sb}^2 + u^2(\alpha_{sb})] \cdot u^2(\Delta T_{a, sb}))$ est déterminée par la différence $\Delta T_{a, sb} = T_{a, sb} - T_{a, sb0}$ entre la température ambiante réelle $T_{a, sb}$ à proximité du corps noir étalon et la valeur $T_{a, sb0}$ définie pour son fonctionnement. À condition que la différence de température $\Delta T_{a, sb}$ soit inférieure à l'incertitude $u(\Delta T_{a, sb})$, le terme d'ordre supérieur (indiqué entre parenthèses) doit être pris en considération. Le coefficient de température relative α_{sb} avec l'incertitude associée $u(\alpha_{sb}) = U(\alpha_{sb})/k$ et le facteur de couverture k sont indiqués dans la DT.

L'étendue géométrique effective nominale $G_{sb} = \varepsilon_{sb} \cdot A_{sb} \cdot \Omega_{sb}$ du corps noir étalon doit être mentionnée dans le certificat du corps noir étalon avec les valeurs individuelles d'émission ε_{sb} de la surface de rayonnement A_{sb} , la taille et l'emplacement de cette surface et l'angle solide Ω_{sb} devant être saisis. Pendant la mesure avec un thermomètre à radiation une étendue géométrique $G_{p, sb} = \varepsilon_{p, sb} \cdot A_{p, sb} \cdot \Omega_{p, sb}$ est utilisée et la lecture doit être corrigée par un facteur $(1 + \gamma_p \cdot \Delta G_{p, sb})$. Elle est combinée à partir de la correspondance imparfaite $\Delta G_{p, sb} = G_{p, sb} - G_{sb}$ entre les étendues géométriques effectives et un coefficient de pondération relative γ_p . La valeur γ_p et l'incertitude type associée $u(\gamma_p) = U(\gamma_p)/k(p)$ se trouvent dans la DT ou cette dernière est déterminée à partir de l'incertitude élargie $U(\gamma_p)$ et le facteur de couverture $k(p)$.

$u_{sb} = u(T_{sb})$ est l'incertitude associée à la température du corps noir étalon, prise pour modèle dans l'équation (7) et devra être spécifiée dans le certificat d'étalonnage. L'incertitude sera exprimée en termes d'incertitude élargie avec le niveau de confiance $p = 0,95$. Si elle est exprimée comme incertitude type, sa valeur devra être ajustée pour la faire correspondre à la valeur élargie en multipliant le facteur de couverture $k(p = 0,95) = 2$ déterminé par sa probabilité¹⁰.

A.2.2.1 Incertitude due au comparateur pyrométrique

Concernant le comparateur pyrométrique, il conviendra de connaître le modèle d'évaluation ainsi que les sources d'incertitude. Il contient les lectures $Y_p(T_b), Y_p(T_{sb})$ pour les températures T_b, T_{sb} du corps noir et du corps noir étalon, respectivement. En cas d'ajustage précis, leur différence $|Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb})| \ll 1$ sera négligeable et l'incertitude associée pourra être évaluée dans une formule simplifiée.

¹⁰ Les sources d'incertitude qui n'ont pas été prises en considération dans le certificat d'étalonnage seront estimées séparément par l'utilisateur du corps noir étalon de référence, en particulier si l'incertitude est due à une différence de dimensions des corps noirs comparés.

Les lectures doivent être corrigées pour les fluctuations de la température ambiante $\Delta T_{a,p} = \Delta T_{a,p,b} - \Delta T_{a,p, sb}$, les effets possibles du vieillissement $\Delta t_p = \Delta t_{p,b} - \Delta t_{p, sb}$ (habituellement négligeables), et les différences de l'étendue géométrique effective $\Delta G_{p,b, sb} = \Delta G_{p,b} - \Delta G_{p, sb}$. Toutes ces corrections sont minimales et déterminées comme des produits avec des coefficients relatifs pour la température α_p , le vieillissement β_p et la géométrie γ_p .

$$\begin{aligned} \Delta Y_p(T_b) &= Y_p(T_b) \cdot (1 + \alpha_p \cdot \Delta T_{a,p,b} + \beta_p \cdot \Delta t_{p,b} + \gamma_p \cdot \Delta G_{p,b}) \text{ avec } |Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb})| \ll 1 \\ &- Y_p(T_{sb}) \cdot (1 + \alpha_p \cdot \Delta T_{a,p, sb} + \beta_p \cdot \Delta t_{p, sb} + \gamma_p \cdot \Delta G_{p, sb}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$u(\Delta Y_p(T_b)) = \sqrt{u^2(Y_p(T_b)) + u^2(Y_p(T_{sb})) + u^2(\alpha_p \cdot \Delta T_{a,p}) + u^2(\beta_p \cdot \Delta t_p) + u^2(\gamma_p \cdot \Delta G_{p,b, sb})}$$

avec :

$\Delta Y_p(T_b)$	différence d'indications du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir;
T_b, T_{sb}	température du corps noir, température du corps noir étalon;
$Y_p(T_b)$	indication du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir;
$Y_p(T_{sb})$	indication du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir étalon;
$\alpha_p, \beta_p, \gamma_p$	coefficients relatifs pour la température ambiante, le vieillissement, la géométrie;
$\Delta T_{a,p}, \Delta t_p, \Delta G_{p,b, sb}$	fluctuation de la température ambiante, temps écoulé depuis l'étalonnage, différence de géométrie;
$u_1 = u(\alpha_p \cdot \Delta T_{a,p})$	composant d'incertitude causé par l'effet de la température ambiante fluctuations pendant l'étalonnage. Le corps noir essayé et le corps noir étalon sont mesurés régulièrement par le thermomètre à radiation. Entre-temps, la température ambiante du thermomètre à radiation varie de $T_{a,p,b}$ to $T_{a,p, sb}$;

$$u_1 = \sqrt{Y_p^2(T_b) \cdot (u^2(\alpha_p \cdot \Delta T_{a,p,b})) + Y_p^2(T_{sb}) \cdot (u^2(\alpha_p \cdot \Delta T_{a,p, sb}))}$$

est l'incertitude appliquée et une part de l'équation (7) avec des différences $\Delta T_{a,p,b} = T_{a,p,b} - T_{a,p0}$ et $\Delta T_{a,p, sb} = T_{a,p, sb} - T_{a,p0}$.

À condition que l'ajustement du corps noir soit tel que les différences entre les lectures du comparateur $|Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb})| \ll 1$ sont négligeables, la simplification

$u_1 = Y_p(T_b) \cdot u(\alpha_p \cdot (T_{a,p,b} - T_{a,p, sb}))$ est valide, et avec le terme d'ordre supérieur indiqué entre parenthèses, on obtient :

$$u_1 \square Y_p(T_b) \cdot \sqrt{u^2(\alpha_p) \cdot (T_{a,p,b} - T_{a,p, sb})^2 + [\alpha_p^2 + u^2(\alpha_p)] \cdot u^2(T_{a,p,b} - T_{a,p, sb})} \quad (9)$$

avec :

$Y_p(T_b)$	l'indication du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir;
α_p	le coefficient de température relative du pyromètre;

$T_{a,p,b}, T_{a,p, sb}$	la température ambiante pour le pyromètre pendant la mesure du corps noir essayé, le corps noir étalon;
$u(T_{a,p,b} - T_{a,p, sb})$	l'incertitude type de la différence de température ambiante.

Les valeurs α_p du coefficient de température relative avec l'incertitude associée $u(\alpha_p) = U(\alpha_p) / k(p)$ et le facteur de couverture $k(p)$ sont indiqués dans la DT du comparateur pyrométrique. Les températures ambiantes $T_{a,p,b}$ et $T_{a,p, sb}$ sont mesurées avec un thermomètre qui n'est pas nécessairement certifié. L'incertitude des lectures de température ambiante provient soit de la résolution $\pm \delta T_{a,p}$ soit de l'écart type empirique $\sigma(T_{a,p})$. Ce dernier n'est pas affecté par le type de corps noir et on obtient :

$$u(T_{a,p,b} - T_{a,p, sb}) = \sqrt{2} \cdot \max(\delta T_{a,p} / \sqrt{3}, \sigma(T_{a,p}) / \sqrt{n}).$$

$u_2 = u(\beta_p \cdot \Delta t_p)$ est le composant d'incertitude dû à l'instabilité de l'efficacité du transducteur de mesure. La stabilité du pyromètre entre les mesures séquentielles fait également partie de l'équation (7) et avec les lectures du comparateur $|Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb})| \ll 1$ on obtient :

$$u_2 = u(\beta_p \cdot \Delta t_p) = Y_p(T_b) \cdot \sqrt{u^2(\beta_p) \cdot (t_{p,b} - t_{p, sb})^2 + \beta_p^2 \cdot u^2(t_{p,b} - t_{p, sb})} \quad (10)$$

avec :

$Y_p(T_b)$	l'indication du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir;
β_p	le coefficient de vieillissement relatif du pyromètre;
$t_{p,b}, t_{p, sb}$	le temps écoulé depuis l'étalonnage du pyromètre pendant la mesure du corps noir essayé, le corps noir étalon;
$u(t_{p,b} - t_{p, sb})$	l'incertitude type de la différence entre les temps;
$u_3 = u(Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb}))$	composant d'incertitude dû à la résolution δY_p de l'instrument mesurant le signal de sortie du comparateur et les écarts types empiriques $\sigma(Y_p(T_b))$ et $\sigma(Y_p(T_{sb}))$ pour un nombre n de lectures pour le corps noir $Y_p(T_b)$ et pour le corps noir étalon $Y_p(T_{sb})$, respectivement :

$$u_3 = u(Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb})) = \sqrt{\max(\delta Y_p^2 / 3, \sigma^2(Y_p(T_b)) / n) + \max(\delta Y_p^2 / 3, \sigma^2(Y_p(T_{sb})) / n)} \quad (11)$$

avec :

$Y_p(T_b), Y_p(T_{sb})$	les indications du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir;
T_b, T_{sb}	la température du corps noir essayé, la température du corps noir étalon;
δY_p	la résolution de l'indication du comparateur pyrométrique;
$\sigma(Y_p(T_b)), \sigma(Y_p(T_{sb}))$	l'écart type empirique de l'indication du pyromètre;

$u_4 = u(\gamma_p \cdot \Delta G_{p,b, sb})$ le composant d'incertitude due à une différence de dimensions de la source de rayonnement de référence A_{sb} et de la source de rayonnement sous étalonnage A_b (effet taille de la

source)¹¹. Leur émissivité $\varepsilon_{sb}, \varepsilon_b$ et les angles solides Ω_{sb}, Ω_b formant les différences dans les étendues géométriques effectives mesurées par le comparateur pyrométrique doivent être pris en compte en plus $u(\gamma_p \cdot \Delta G_{p,b, sb}) = Y_p(T_b) \cdot (1 + \gamma_p \cdot \Delta G_{p,b}) - Y_p(T_{sb}) \cdot (1 + \gamma_p \cdot \Delta G_{p, sb})$. Si l'ajustement du corps noir essayé est tel que $|Y_p(T_b) - Y_p(T_{sb})| \ll 1$, les lectures du comparateur sont (presque) égales, la simplification $\Delta Y_p(T_b) = Y_p(T_b) \cdot (1 + \gamma_p \cdot (\varepsilon_b \cdot A_b \cdot \Omega_b - \varepsilon_{sb} \cdot A_{sb} \cdot \Omega_{sb}))$ est valide et on obtient :

$$u_4 = u(\gamma_p \cdot \Delta G_{p,b, sb}) = Y_p(T_b) \cdot \sqrt{u^2(Y_p(T_b)) + u^2(\gamma_p) + \gamma_p^2 \cdot (u^2(\varepsilon_b \cdot A_b \cdot \Omega_b) + u^2(\varepsilon_{sb} \cdot A_{sb} \cdot \Omega_{sb}))} \quad (12)$$

avec :

$Y_p(T_b)$	l'indication du comparateur pyrométrique pour la température du corps noir;
γ_p	le coefficient de géométrie relatif du pyromètre;
T_b, T_{sb}	la température du corps noir essayé, la température du corps noir étalon;
$\Delta G_{p,b, sb}$	les étendues géométriques effectives, le corps noir essayé moins le corps noir étalon;
$\sigma(Y_p(T_b)), \sigma(Y_p(T_{sb}))$	l'écart type empirique de l'indication du pyromètre.

L'incertitude combinée u_{st} pour la température est compilée à partir des contributions de l'équation (4) à l'équation (11) des instruments étalons de mesure et sera calculée selon la formule suivante :

$$u_{st} = \sqrt{u_{sb}^2 + u_b^2 + c^2 \cdot (u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2)} \quad (13)$$

A.2.2.2 L'option d'étalonnage (vérification) utilisant la mesure directe de la température du corps noir essayé au moyen du pyromètre de référence est décrite par le modèle suivant :

$$\begin{aligned} \Delta Y_b &= Y_{sp}(T_b) - Y_b + \Delta Y_{sp} \\ u(\Delta Y_b) &= \sqrt{u^2(Y_{sp}(T_b)) + u^2(Y_b) + u^2(\Delta Y_{sp})} \end{aligned} \quad (14)$$

avec :

Y_b	la lecture du thermomètre intégré dans le corps noir;
ΔY_b	la valeur de correction pour le corps noir essayé;
$Y_{sp}(T_b)$	la lecture du pyromètre étalon;
ΔY_{sp}	la valeur de correction du pyromètre étalon.

¹¹ Généralement, les fluctuations de température ambiante sont négligeables pendant la procédure d'étalonnage en laboratoire; les exigences imposées à l'instabilité et à la résolution de l'instrument mesurant le signal de sortie du comparateur indiqué dans le tableau 1 permettent également d'ignorer ces composants d'incertitude. Il est important de prendre en compte l'incertitude due à la différence de dimensions des corps noirs comparés. Conformément aux estimations de [4] et [5], la valeur normale type de l'incertitude résultant de dimensions différentes des corps noirs comparés varie de 0,1 à 0,2 %. S'il est nécessaire d'étalonner les corps noirs avec une incertitude inférieure à 0,5 %, on se basera sur les règles et les estimations indiquées aux points [3-5].

A.2.2.3 Incertitude de température par rapport au pyromètre de référence (le thermomètre à radiation étalon)

u_{sp} est l'incertitude de température d'un corps noir T_b indiquée par un pyromètre étalon utilisé comme référence. Elle inclut l'incertitude de l'étalonnage, son instabilité, l'incertitude due à son positionnement contre l'axe optique du corps noir et l'incertitude due à l'effet des conditions ambiantes

La température T_b d'un corps noir est évaluée à partir de la lecture $Y_{sp}(T_b)$ du pyromètre étalon corrigée par un facteur $(1 + \alpha_{sp} \cdot \Delta T_{a,sp} + \gamma_{sp} \cdot \Delta G_{sp,b})$ pour les effets de la température ambiante $\Delta T_{a,sp}$ et une étendue géométrique effective $\Delta G_{sp,b}$ et à partir de la valeur de correction ΔY_{sp} modifiée par un facteur de correction $(1 + \beta_{sp} \cdot \Delta t_{sp})$ pour le vieillissement pendant la période de temps Δt_{sp} depuis l'étalonnage. Les petites corrections sont des produits des variations de la température ambiante $\Delta T_{a,sp}$, des différences dans les étendues géométriques effectives $\Delta G_{sp,b}$ et dues au temps de vieillissement $\Delta T_{a,sp}$ avec des coefficients relatifs connexes $\alpha_{sp}, \beta_{sp}, \gamma_{sp}$.

$$T_b = c \cdot (Y_{sp}(T_b) \cdot (1 + \alpha_{sp} \cdot \Delta T_{a,sp} + \gamma_{sp} \cdot \Delta G_{sp,b}) + \Delta Y_{sp} \cdot (1 + \beta_{sp} \cdot \Delta t_{sp}))$$

$$u_{sp} = u(T_b) = c \cdot \sqrt{u^2(\Delta Y_{sp}) + \Delta Y_{sp}^2 \cdot (\Delta t_{sp}^2 \cdot u^2(\beta_{sp}) + \beta_{sp}^2 \cdot u^2(\Delta t_{sp})) + u^2(Y_{sp}(T_b)) + Y_{sp}^2(T_b) \cdot \left(\Delta T_{a,sp}^2 \cdot u^2(\alpha_{sp}) + [\alpha_{sp}^2 + u^2(\alpha_{sp})] \cdot u^2(\Delta T_{a,sp}) + \Delta G_{sp,b}^2 \cdot u^2(\gamma_{sp}) + [\gamma_{sp}^2 + u^2(\gamma_{sp})] \cdot u^2(\Delta G_{sp,b}) \right)}$$
 (15)

avec :

T_b	une indication de la température du corps noir essayé;
$Y_{sp}(T_b)$	la lecture du pyromètre étalon;
ΔY_{sp}	la valeur de correction du pyromètre étalon;
$\alpha_{sp}, \beta_{sp}, \gamma_{sp}$	les coefficients relatifs du pyromètre étalon pour la température, le vieillissement et la géométrie.

$u(\Delta Y_{sp}) = U(\Delta Y_{sp}) / k(p)$ est l'incertitude de la valeur de correction du pyromètre assignée par l'étalonnage du pyromètre, et certifiée comme incertitude élargie $U(\Delta Y_{sp})$ avec un facteur de couverture $k(p)$.

Pour une stabilité à long terme, la contribution d'incertitude $\Delta Y_{sp}^2 \cdot (\Delta t_{sp}^2 \cdot u^2(\beta_{sp}) + \beta_{sp}^2 \cdot u^2(\Delta t_{sp}))$ est évaluée à partir du coefficient de vieillissement relatif β_{sp} avec l'incertitude associée $u(\beta_{sp}) = U(\beta_{sp}) / k(p)$ et un facteur de couverture $k(p)$ indiqué dans la DT pour le pyromètre étalon. La période de temps Δt_{sp} écoulée depuis le dernier étalonnage est déterminée par le certificat et généralement, l'incertitude $u(\Delta t_{sp})$ est négligeable.

$u(Y_{sp}(T_b)) = \max(\delta Y_{sp} / \sqrt{3}, \sigma(Y_{sp}) / \sqrt{n})$ calculée à partir des lectures est déterminée comme la valeur maximale résultant soit des lectures de résolution $\pm \delta Y_{sp}(T_b)$ soit de l'écart type empirique $\sigma(Y_{sp}(T_b))$ d'un nombre n de lectures indépendantes.

La contribution d'incertitude $Y_{sp}^2(T_b) \cdot (\Delta T_{a,sp}^2 \cdot u^2(\alpha_{sp}) + [\alpha_{sp}^2 + u^2(\alpha_{sp})] \cdot u^2(\Delta T_{a,sp}))$ résultant des conditions ambiantes, comme la variation de la température ambiante, est déterminée par la différence $\Delta T_{a,sp} = T_{a,sp} - T_{a,sp0}$ entre la température ambiante réelle $T_{a,sp}$ à proximité du pyromètre étalon et la valeur $T_{a,sp0}$ définie pour son fonctionnement. À condition que la différence de température $\Delta T_{a,sp}$ soit

négligeable, le terme d'ordre supérieur (indiqué entre parenthèses) doit être pris en considération. Le coefficient de température relative α_{sp} avec une incertitude associée $u(\alpha_{sp}) = U(\alpha_{sp})/k(p)$ et le facteur de couverture $k(p)$ sont indiqués dans la DT du pyromètre.

A.2.2.4 Incertitude de température connexe aux différences géométriques

L'étendue géométrique effective $G_{b,0} = \varepsilon_{b,0} \cdot A_{b,0} \cdot \Omega_{b,0}$ pour le corps noir essayé est indiquée dans le certificat avec les valeurs nominales d'émissivité $\varepsilon_{b,0}$ de la surface de rayonnement $A_{b,0}$, la taille et l'emplacement de cette surface et l'angle solide saisi $\Omega_{b,0}$. Elle est comparée à l'étendue géométrique mesurée $G_{sp,b} = \varepsilon_{sp,b} \cdot A_{sp,b} \cdot \Omega_{sp,b}$ du pyromètre étalon avec les valeurs individuelles d'émissivité $\varepsilon_{sp,b}$ of de la surface de rayonnement $A_{sp,b}$, la taille et l'emplacement de cette surface et l'angle solide saisi $\Omega_{sp,b}$. Le facteur de correction $(1 + \gamma_{sp} \cdot \Delta G_{sp,b})$ est le produit du coefficient relatif γ_{sp} et de la différence $\Delta G_{sp,b} = G_{sp,0} - G_{b,0}$.

La contribution d'incertitude $\Delta G_{sp,b}^2 \cdot u^2(\gamma_{sp}) + [\gamma_{sp}^2 + u^2(\gamma_{sp})] \cdot u^2(\Delta G_{sp,b})$ pendant l'étalonnage du corps noir essayé, résultant d'une correspondance imparfaite entre ces étendues géométriques effectives, doit être prise en considération.

L'incertitude u_{sp} du pyromètre étalon devra être spécifiée dans son certificat d'étalonnage. Comme mentionné dans la section précédente, cette incertitude sera exprimée en termes d'incertitude élargie avec le niveau de probabilité $p = 0,95$. Si elle est exprimée comme incertitude type ($k = 1$), sa valeur sera ajustée pour correspondre à la valeur élargie en la multipliant par le facteur de couverture $k(p = 0,95) = 2$ déterminé par cette probabilité.

L'incertitude due à la différence entre (dimensions) l'étendue géométrique effective du corps noir utilisée lors de l'étalonnage du pyromètre de référence et les dimensions du corps noir devant être étalonné est expliquée dans la note 2 (voir 2.1.2) et prise en compte dans l'équation (15). Dans ce cas, l'incertitude des instruments étalons de mesure u_{sr} résultant de l'équation (13) devra être égale à u_{sp} .

A.2.2.5 Incertitude type de température

L'incertitude type estimée par les lectures répétées est obtenue conformément au point 8.7.2.

A.3 Incertitude d'étalonnage du corps noir essayé

A.3.1 Température du corps noir essayé

La température du corps noir essayé est déterminée par la valeur moyenne Y_b des lectures répétées du thermomètre intégré dans le corps noir essayé, obtenues conformément au point 8.7.2 et par la valeur de correction ΔY_b évaluée soit à partir de l'équation (7) ou de l'équation (15), et indiquée dans le certificat comme incertitude élargie $U(\Delta Y_b) = k(p) \cdot u(\Delta Y_b)$ avec le facteur de couverture spécifié $k(p)$. Les incertitudes types connexes sont déterminées à partir de l'équation (4) et de l'équation (7) ou de l'équation (15).

$$T_b \Rightarrow c \cdot (Y_b + \Delta Y_b) \quad (16)$$

avec:

T_b	la température du corps noir essayé;
$c \equiv 1$	le coefficient de sensibilité;
Y_b	la lecture du thermomètre intégré dans le corps noir essayé;
ΔY_b	la valeur de correction pour le thermomètre intégré dans le corps noir essayé.

A.3.2 Incertitude type maximale du corps noir essayé

L'incertitude type maximale de la température du corps noir essayé à des fins de vérification est calculée selon la formule suivante, en utilisant la valeur de correction résultant de l'équation (7) ou de l'équation (15) et les intervalles de limitation (distribution de probabilité rectangulaire) dans la DT estimés par le type B – $u(T_b)$ – est calculée selon la formule suivante :

$$u(T_b) = \sqrt{u_{st}^2 + (u_{ci}^2 + u_{si}^2 + u_{va}^2 + u_{rs}^2) / 3} \quad (17)$$

avec :

T_b	la température du corps noir essayé;
$c \equiv 1$	le coefficient de sensibilité;
u_{st}	l'incertitude type résultant de l'équation (7) ou de l'équation (15) ;
u_{ci}	l'écart-type résultant de l'instabilité du thermomètre intégré dans le corps noir essayé et indiqué comme limite dans la DT;
u_{si}	l'écart-type résultant de l'étalonnage (vérification) pour les intervalles spectraux, les limites d'incertitude conformément au point 8.8.15;
u_{va}	l'écart-type résultant de l'étalonnage (vérification) pour la surface de rayonnement non-homogène, les limites d'incertitude conformément au point 8.8.16;
u_{rs}	l'écart-type résultant de l'étalonnage (vérification) pour la surface de rayonnement non-homogène, les limites d'incertitude conformément au point 8.8.16.

Tous les composants du budget doivent être exprimés comme incertitudes types déterminées à partir des limites des valeurs tolérées tenant compte du facteur de couverture recommandé.

A.3.3 L'incertitude type combinée d'une mesure de température d'un corps noir devant être étalonné (vérifié) – $u_{\Sigma}(T)$ – est calculée selon la formule suivante :

$$u_{\Sigma}(T) = \sqrt{c^2 \cdot u^2(Y_b) + u^2(T_b)} \quad (18)$$

avec :

$u_{\Sigma}(T)$	la température mesurée du corps noir;
$c \equiv 1$	le coefficient de sensibilité;
$u(Y_b)$	l'incertitude type résultant de l'équation (4);
$u(T_b)$	l'incertitude type résultant de l'équation (17).

A.3.4 L'incertitude élargie de la valeur de température du corps noir essayé est déterminée par le facteur de couverture $k(p)$ dépendant de la probabilité de confiance p ($k(p=0,95)=2$, $k(p=0,99)=3$) et est calculée selon la formule suivante :

$$U = k(p) \cdot u_{\Sigma}(T) \quad (19)$$

Annexe B – Formulaire types pour les certificats d'étalonnage et de vérification

(Obligatoire)

B.1 Résultats d'évaluation géométrique de la cavité du corps noir

Diamètre d'ouverture, mm		Distance entre l'ouverture et la paroi noire du modèle de corps noir, mm	
Valeur tolérée	Valeur mesurée	Valeur tolérée	Valeur mesurée

B.2 Résultats de l'évaluation du temps de préchauffage, de la dérive en température et du temps de transition lorsque le corps noir passe d'un mode stationnaire à un autre

Température t_{90} , °C	Lectures du thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié), °C	Valeurs de températures moyennes aux intervalles de temps t_1 , t_2 , t_3 , °C			Différence maximale des valeurs de températures moyennes aux intervalles de temps t , t_2 , t_3 , °C	
		t_1 (0-5 min)	t_2 (5-10 min)	t_3 (10-15 min)	Valeur tolérée	Valeur calculée à partir des données de mesures

B.3 Résultats d'évaluation de l'incertitude de contrôle thermique du corps noir

Température t_{90} , °C	Lectures du thermomètre d'un corps noir devant être étalonné (vérifié), °C	Valeur de température moyenne, °C	Écart maximal par rapport à la valeur de température moyenne, °C	
			Valeur tolérée	Valeur calculée à partir des données de mesures

B.4 Résultats d'évaluation de la correction obtenus lors de la visée suivant l'axe du corps noir**B.4.1 Résultats d'évaluation de la correction obtenus à l'aide de comparateurs de rayonnement**

Température t_{90} , °C	Lectures du thermomètre d'un corps noir devant être étalonné (vérifié), °C	Température de rayonnement d'un corps noir étalon, °C	Différence entre la température de rayonnement d'un corps noir étalon et les lectures du thermomètre d'un corps noir devant être étalonné (vérifié), °C

B.4.2 Résultats d'évaluation de la correction obtenus à l'aide de comparateurs pyrométriques avec une gamme spectrale partielle

Température t_{90} , °C	Gamme spectrale, μm	Lectures du thermomètre d'un corps noir devant être étalonné (vérifié), °C	Température de rayonnement d'un corps noir étalon, °C	Différence entre la température de rayonnement d'un corps noir étalon et les lectures du thermomètre d'un corps noir devant être étalonné (vérifié), °C

Différence de température moyenne pour toutes les gammes spectrales, ... °C
Écart maximal par rapport à la différence de température moyenne, ... °C

B.4.3 Résultats d'évaluation de la correction dépendant de l'angle de visée d'un corps noir devant être étalonné (vérifié)

Remplir ce tableau pour chaque angle de visée conformément au point 4.2. Ensuite, les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Température t_{90} , °C	Angle de visée, α , $1 \leq i \leq m$, degré	Différences entre la température du corps noir étalon et la température indiquée par le thermomètre du corps noir étalonné (vérifié) pour les bandes spectrales $1 \leq j \leq n s$, °C		Incertitude de correction pour chaque bande et angle, °C	Valeur moyenne de la correction de température pour tous les angles et gammes spectrales, °C
		La j ième bande	Moyenne de tous les angles		

Écart maximal par rapport à la correction de température moyenne pour tous les angles et gammes spectrales, ... °C

B.4.4 Résultats d'évaluation de la correction dépendant de l'angle de visée sur un corps noir devant être étalonné (vérifié)

Température t_{90} , °C	Lectures du thermomètre d'un corps noir étalon, °C	Coordonnées du point de visée, mm	Lectures du thermomètre intégré dans le corps noir, °C	Différence entre les lectures du thermomètre d'un corps noir étalon et d'un corps noir devant être étalonné (vérifié), °C

N.B. : T est la température réglée, mesurée par le thermomètre intégré dans le corps noir devant être étalonné (vérifié). Différence de température moyenne pour tous les points de visée, ... °C

Écart maximal par rapport à la différence de température moyenne, °C

Annexe C – Références

(pour information)

- [1] ISO/CEI 17000:2004
- [2] OIML V2-200:2012 Vocabulaire international de métrologie - Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). 3ème édition (bilingue GB/F)
- [3] OIML G 1-100:2008 Evaluation des données de mesure - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure
- [4] J. Fischer et al., "CCT-WG5 on radiation thermometry, Uncertainty budgets for realization of scales by radiation thermometry", 2003, CIPM, CCT/03-03. Summary in Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, 2003 vol.7, D.C. Ripple ed., Melville, New York, pp.631-638
- [5] J. Fischer et al., "CCT-WG5 on radiation thermometry, Uncertainty budgets for calibration of radiation thermometers below the silver point", Ver. 1.71, CIPM, CCT-WG5/docs-03-2008, (<http://www.bipm.org/wg/AllowedDocuments.jsp?wg=CCT-WG5>)
- [6] P. Saunders et al., "Uncertainty budgets for calibration of radiation thermometers below the silver point", 2008, Int J Thermophys vol. 29, pp1066–1083; DOI 10.1007/s10765-008-0385-1