

DOCUMENT
INTERNATIONAL

OIML D 24

Édition 1996 (F)

Pyromètres à radiation totale

Total radiation pyrometers



SOMMAIRE

<i>Avant-propos</i>	3
1 Objet et domaine d'application.....	4
2 Unités de mesure.....	4
3 Caractéristiques techniques et métrologiques des pyromètres à radiation totale	5
4 Caractéristiques techniques et métrologiques de l'équipement d'étalonnage.....	6
5 Étalonnage des pyromètres à radiation totale	7
6 Contrôle métrologique	11

Avant-propos

L'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) est une organisation intergouvernementale mondiale dont l'objectif premier est d'harmoniser les réglementations et les contrôles métrologiques appliqués par les services nationaux de métrologie, ou organismes apparentés, de ses États Membres.

Les deux principales catégories de publications 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 mettre ces Recommandations en application dans toute la mesure du possible;
- les **Documents Internationaux (OIML D)**, qui sont de nature informative et destinés à améliorer l'activité des services de métrologie.

Les projets de Recommandations et Documents OIML sont élaborés par des comités techniques ou sous-comités composés d'États Membres. Certaines institutions internationales et régionales y participent aussi sur une base consultative.

Des accords de coopération ont été conclus entre l'OIML et certaines institutions, comme 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 et Documents Internationaux sont publiés en français (F) et en anglais (E) et sont périodiquement soumis à révision.

La présente publication – référence OIML D 24, édition 1996 (F) – a été élaborée par le sous-comité OIML TC 11/SC 3 *Thermomètres à radiations*. Elle a été approuvée par le Comité International de Métrologie Légale en 1993.

Les publications de l'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 et 42 85 27 11
Fax: 33 (0)1 42 82 17 27
E-mail: biml@oiml.org
Internet: www.oiml.org

PYROMÈTRES À RADIATION TOTALE

1 Objet et domaine d'application

1.1 Le présent Document International s'applique aux pyromètres à radiation totale qui mesurent la température de rayonnement d'après la relation existant entre la radiance de la source, intégrée sur la partie principale du spectre de rayonnement thermique, et sa température.

1.2 Le présent Document a pour but:

- d'assurer que tous les pyromètres à radiation totale donnent des indications correctes (dans les limites des erreurs tolérées), lorsqu'ils mesurent la température d'un corps noir;
- de spécifier les moyens et conditions d'étalonnage des pyromètres à radiation totale avec un niveau donné d'exactitude et de fiabilité.

1.3 Le présent Document spécifie, pour les pyromètres à radiation totale:

- les unités de mesure,
- les caractéristiques techniques générales,
- les caractéristiques de l'équipement auxiliaire d'étalonnage,
- les méthodes de base à utiliser pour assurer l'uniformité de l'étalonnage,
- les exigences de base d'étalonnage.

1.4 L'application d'autres méthodes d'étalonnage et de vérification des pyromètres à radiation totale est permise à condition que ces méthodes assurent la même exactitude que celle spécifiée dans le présent Document.

1.5 Le présent Document est applicable aux pyromètres à radiation totale gradués en unités de température, et aux capteurs de ces pyromètres^(*). Il s'applique aussi aux pyromètres qui donnent une valeur d'un signal électrique de sortie et qui sont fournis avec les informations ou autres moyens nécessaires pour convertir cette valeur en une indication de température.

2 Unités de mesure

2.1 Les pyromètres doivent être gradués selon l'Échelle Internationale de Température 1990. La température doit être exprimée en degrés Celsius (°C), ou en kelvins (K).

2.2 Les pyromètres peuvent ne pas donner d'indication directe de la température à condition que pour les pyromètres de ce type, la relation entre le signal de sortie et la température mesurée, soit indiquée (table, courbe d'étalonnage, etc.). La relation indiquée peut être individuelle (applicable uniquement à l'instrument utilisé) ou générale (applicable à tous les instruments d'un type donné).

(*) En général, un pyromètre à radiation totale comporte deux parties, à savoir un capteur (système optique et détecteur) fournissant un signal électrique proportionnel au flux de rayonnement thermique reçu, et un appareil secondaire convertissant le signal de sortie du capteur en indications de température.

2.3 L'indication de l'instrument (résultat de la mesure de température) peut être soit une lecture directe en unités de température sur une échelle ou un afficheur, soit le résultat d'un calcul de la température à l'aide d'une table ou courbe d'étalonnage.

3 Caractéristiques techniques et métrologiques des pyromètres à radiation totale

3.1 Les pyromètres à radiation totale se caractérisent par les paramètres de base suivants:

- étendue de mesure,
- erreur intrinsèque,
- fidélité,
- distance de visée et dimensions de l'aire de visée,
- ouverture nominale de visée et distance nominale,
- temps de réponse,
- température ambiante normale de fonctionnement et limites de la température ambiante de fonctionnement.

3.1.1 L'erreur intrinsèque caractérise l'exactitude de l'instrument. Cette erreur est égale à la différence entre la valeur moyenne d'un nombre suffisant d'indications données par le pyromètre, dans les conditions de référence (voir 3.2) lors de la mesure de la température d'un corps noir à température constante, et une valeur conventionnellement vraie de la température de ce corps noir.

3.1.2 La fidélité caractérise la dispersion des indications individuelles de l'instrument lors de mesures répétées de la même température.

3.1.3 La distance de visée est la distance entre la source de rayonnement et l'optique du pyromètre à radiation totale. Cette distance peut être mesurée à partir d'un autre point du pyromètre, mentionné dans le document d'accompagnement.

3.1.4 L'aire de visée est la partie d'un plan perpendiculaire à l'axe optique, dont l'image à la distance de visée couvre le capteur du pyromètre (ou, le cas échéant, le diaphragme de champ). Le diamètre de l'aire de visée détermine les dimensions minimales de l'objet dont la température peut être mesurée par le pyromètre dans les limites d'erreurs tolérées.

3.1.5 L'ouverture de visée est le quotient du diamètre de l'aire de visée par la distance de visée.

3.1.6 L'ouverture nominale de visée, n , est une ouverture de visée pour une distance de visée donnée, L , telle que la température d'une source de rayonnement de diamètre $D = n \times L$ peut être mesurée correctement. Habituellement, l'ouverture nominale de visée est fixée pour une distance de 1 m. Cependant, l'instrument peut être réglé pour d'autres distances de visée à condition que ces distances soient indiquées dans les documents d'accompagnement .

3.1.7 Le temps de réponse est le temps nécessaire à un pyromètre à radiation totale, suite à une variation soudaine ΔT de la température de la source, pour produire un changement $\eta\Delta T$ de l'indication du pyromètre, où η est la valeur indiquée dans la spécification du pyromètre.

3.1.8 La température normale de fonctionnement est la température du boîtier du pyromètre à laquelle l'erreur intrinsèque du pyromètre est déterminée. A toute autre température, l'erreur totale du pyromètre est égale à la somme de l'erreur intrinsèque et de l'erreur complémentaire due à la variation de température ambiante.

3.2 La valeur de l'erreur intrinsèque doit être déterminée dans les conditions de référence suivantes:

- l'objet dont il faut mesurer la température est une source de rayonnement du type corps noir,
- la distance de visée est égale à 1 m comme indiqué en 3.1.6,
- le diamètre de la source de rayonnement est $n \times 1$ m, où n est l'ouverture nominale,
- la température ambiante est maintenue à la valeur de référence, soit par exemple $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$,
- l'humidité relative de l'air ambiant ne dépasse pas 80 %.

3.3 L'erreur intrinsèque d'un pyromètre à radiation totale peut être donnée pour d'autres conditions, c'est-à-dire pour d'autres valeurs de la distance de visée, du diamètre de la source, de la température ambiante et de l'humidité, pourvu que ces conditions soient précisées dans le document d'accompagnement. Pour d'autres valeurs des conditions de fonctionnement, les erreurs complémentaires dues à la différence entre les conditions réelles de fonctionnement et les conditions de référence, doivent être spécifiées.

3.4 Les erreurs intrinsèques et les erreurs complémentaires d'un pyromètre à radiation totale peuvent être exprimées en °C (ou K) ou en grandeurs relatives. Cependant, cela doit être fait de telle manière que, pour chaque valeur de la température mesurée, l'erreur en °C (ou K) puisse être déterminée.

4 Caractéristiques techniques et métrologiques de l'équipement d'étalonnage

4.1 Caractéristiques techniques et métrologiques des sources de rayonnement

4.1.1 pour l'étalonnage des pyromètres à radiation totale, on utilise des sources de rayonnement du type corps noir avec des ouvertures plus grandes (habituellement, deux fois plus grandes) que le champ de visée du pyromètre.

4.1.2 Ces sources de rayonnement doivent satisfaire aux exigences suivantes.

4.1.2.1 L'émissivité^(*) totale ne doit pas être inférieure à 0,99.

(*)Quotient de la radiance d'une source isothermique à la radiance d'un corps noir parfait ayant la même température que la source.

4.1.2.2 L'émissivité totale effective^(**) doit être égale au moins à 0,99 et au plus à 1,01.

4.1.2.3 La source doit être munie d'un dispositif de mesure et de réglage de la température de ses surfaces afin de satisfaire aux exigences de 4.1.2.2.

4.2 Caractéristiques techniques et métrologiques des instruments de mesure étalons et de l'équipement d'étalonnage

4.2.1 Des thermomètres à mercure en verre, des thermomètres à résistance, des thermocouples, ou des pyromètres optiques peuvent être utilisés comme étalons pour la mesure de la température de la source de rayonnement (en fonction de l'étendue de température).

4.2.2 Les erreurs des étalons ne doivent pas dépasser:

0,1 °C	en dessous de	200 °C
0,2 °C de	200 °C à	300 °C
0,5 °C de	300 °C à	600 °C
3,0 °C de	600 °C à	1 100 °C
7,0 °C de	1 100 °C à	2 000 °C
16,0 °C de	2 000 °C à	2 800 °C

4.2.3 L'équipement utilisé pour la mesure des grandeurs électriques (tension, résistance, etc.) qui caractérisent les signaux de sortie des thermomètres (pyromètres) étalons, doit satisfaire aux exigences d'exactitude correspondant aux valeurs données en 4.2.2.

4.2.4 L'équipement utilisé pour mesurer les signaux de sortie des pyromètres non munis d'échelles graduées en °C ou en K, doit permettre la mesure des signaux de sortie avec une erreur (en équivalent de température) ne dépassant pas un dixième de l'erreur maximale tolérée du pyromètre à radiation totale à étalonner.

4.2.5 Pour faire varier la température du boîtier du pyromètre à étalonner, il est préférable d'utiliser les accessoires protégeant la tête du pyromètre (par exemple une chemise d'eau) et dans lesquels circule de l'eau réchauffée ou refroidie à la température spécifiée.

Le thermostat contrôlant la température de l'eau circulant dans la chemise d'eau, doit maintenir stable la température de l'eau à 0,4 °C près.

5 Étalonnage des pyromètres à radiation totale

5.1 Procédure

5.1.1 L'erreur intrinsèque d'un pyromètre à radiation totale est déterminée en mesurant la température d'une source de rayonnement du type corps noir au moyen du pyromètre concerné et la valeur conventionnellement vraie de cette température à l'aide d'un instrument étalon, comme indiqué en 4.2.1.

(**) Quotient de la radiance d'une source non isothermique à la radiance d'un corps noir idéal dont la température est celle indiquée par un instrument étalon mesurant la température de la source.

5.1.2 La conformité du pyromètre à toutes les autres exigences peut être vérifiée en même temps que l'on détermine l'erreur intrinsèque, ou séparément. Des sources de rayonnement ayant une émissivité effective inférieure à 0,99 peuvent être utilisées pour les essais relatifs à ces autres exigences.

5.2 Préparation pour l'étalonnage

5.2.1 Le pyromètre à radiation totale à étalonner doit être placé à une distance de $1,00 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m}$ de l'ouverture de la source de rayonnement, qui doit être recouverte par un diaphragme amovible en métal poli. Le diamètre de l'ouverture doit être égal à l'ouverture nominale de visée multipliée par 1 m. Si la distance de visée spécifiée dans la documentation technique est différente de 1 m, le pyromètre doit être placé à la distance spécifiée et un diamètre approprié de diaphragme doit être choisi.

5.2.2 Le pyromètre doit être installé de façon à ce que son axe optique passe par le centre du diaphragme.

5.2.3 Si le pyromètre est muni de dispositifs d'ajustage des indications de température pour des surfaces mesurées ayant des émissivités ε inférieures à 1, cet ajustage doit être mis en position $\varepsilon = 1$ pendant la procédure d'étalonnage.

5.3 Détermination de l'erreur intrinsèque

5.3.1 La détermination de l'erreur intrinsèque doit être faite aux températures du corps noir indiquées dans la deuxième colonne du Tableau 1, et comprises dans l'étendue d'étalonnage.

Tableau 1

Étendue de température (°C)	Températures du corps noir (°C)	Ecart toléré de la température d'étalonnage ^(*) (°C)	Vitesse tolérée de variation de la température de la source (°C/s)
20 à 150	50, 100, 150	± 5	0,01
150 à 600	200, 300, 400 500, 600	± 5	0,02
> 600	800, 1 000, 1 200 1 400, 1 600, 1 800 2 000, 2 200	± 10	0,05

Si moins de trois des températures indiquées dans le Tableau 1 sont comprises dans l'étendue totale de mesure du pyromètre à étalonner, l'erreur intrinsèque doit être déterminée à trois températures du corps noir correspondant aux valeurs inférieure, médiane et supérieure de l'étendue d'étalonnage.

5.3.2 L'erreur intrinsèque doit d'abord être déterminée à une température proche de la plus basse température de l'étendue de mesure; la température est choisie conformément à 5.3.1.

(*)Ecart de la température d'étalonnage par rapport à la température spécifiée dans la deuxième colonne; voir 4.2.2 en ce qui concerne l'exactitude de mesure des températures du corps noir.

5.3.3 L'écart de température de la source de rayonnement par rapport à la température spécifiée ne doit pas dépasser la valeur indiquée en troisième colonne du Tableau 1, et la vitesse de variation de température ne doit pas dépasser la valeur indiquée en dernière colonne du Tableau 1.

5.3.4 Au moins cinq mesures de la température t_0 de la source de rayonnement et au moins quatre lectures de la température t indiquée par le pyromètre doivent être effectuées alternativement. Les valeurs moyennes \bar{t}_0 de la température de la source de rayonnement et \bar{t} des indications du pyromètre, doivent être calculées et l'erreur intrinsèque du pyromètre doit être déterminée d'après la formule:

$$\Delta t = \bar{t} - \bar{t}_0$$

Note: Pour les instruments non équipés d'un dispositif indicateur gradué en unités de température, l'étalonnage primaire sert à établir la relation $x = f(t_0)$, où x est le paramètre indiqué par l'instrument. La différence Δt peut alors s'appliquer au réétalonnage (vérification).

5.3.5 Les opérations indiquées en 5.3.3 et 5.3.4 doivent être effectuées pour toutes les températures auxquelles le pyromètre doit être étalonné, conformément à 5.3.1.

5.4 Détermination de la fidélité

5.4.1 La fidélité doit être déterminée à trois températures correspondant aux températures inférieure, médiane et supérieure de l'étendue de température du pyromètre. Ces températures doivent être choisies conformément à 5.3.1.

5.4.2 Pour déterminer la fidélité, onze mesures de la température t_0 de la source de rayonnement et dix lectures t du pyromètre doivent être effectuées en alternance.

5.4.3 La différence pour chaque lecture t_i du pyromètre est calculée d'après la formule:

$$\delta_i = t_i - 1/2 (t_{0,i} + t_{0,i+1}) \quad (i = 1, 2, \dots, 10)$$

où $t_{0,i}$ et $t_{0,i+1}$ sont les températures de la source de rayonnement mesurées directement avant et après chaque lecture t_i du pyromètre.

5.4.4 L'écart-type doit être calculé, en utilisant la valeur précédente, à partir de la formule:

$$\sigma = 1/3 \left[\sum_{i=1}^{i=10} (\delta_i - \bar{\delta})^2 \right]^{1/2}$$

où $\bar{\delta}$ est la moyenne des valeurs δ_i .

5.5 Détermination de l'influence de l'augmentation des dimensions

de l'aire de visée

5.5.1 Pour la détermination de l'influence de la variation des dimensions de l'aire de visée, il faut utiliser une source de rayonnement dont le diamètre d'ouverture n'est pas inférieur à 1,5 fois le diamètre de l'aire de visée du pyromètre, défini conformément à 3.1.4.

5.5.2 Le pyromètre doit être placé en face de la source de rayonnement comme spécifié en 5.2.1 et 5.2.2.

5.5.3 Lorsqu'on procède comme indiqué en 5.3.3, la source de rayonnement doit être réglée à la température la plus élevée prise de la série 100, 200, 300, 600, 800, 1 100, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000 °C, et comprise dans l'étendue de mesure du pyromètre et dans l'étendue de fonctionnement de l'équipement utilisé pour l'étalonnage.

5.5.4 Après avoir relevé la température t_1 indiquée par le pyromètre (ayant préalablement mesuré la température de la source du type corps noir), le diaphragme limitant l'ouverture doit être rapidement enlevé et une nouvelle lecture t_2 est effectuée sur le pyromètre à étalonner.

5.5.5 La différence $t_2 - t_1$ détermine l'influence de l'augmentation des dimensions de la source de rayonnement.

5.6 Détermination du temps de réponse

5.6.1 Le pyromètre à radiation totale doit être placé en face de la source de rayonnement et les opérations décrites en 5.2.1 et 5.2.2 doivent être effectuées.

La sortie du pyromètre doit être couplée à un enregistreur automatique dont la constante de temps ne doit pas dépasser un dixième de la constante de temps du pyromètre à étalonner. La température de la source de rayonnement doit être choisie conformément à 5.5.3.

5.6.2 Le flux de rayonnement thermique émis par la source de rayonnement et frappant l'entrée du pyromètre doit être coupé totalement à l'aide d'un écran opaque. On enlève brusquement cet écran dix minutes après. Avant d'enlever l'écran, la valeur finale d'indication du pyromètre, V_0 , doit être déterminée à partir du signal de sortie enregistré.

5.6.3 La valeur finale d'indication du pyromètre sans écran, V_1 , doit être déterminée à partir du signal de sortie enregistré. Les températures t_1 et t_0 correspondant à V_1 et V_0 , et $t_2 = \eta \times (t_1 - t_0) + t_0$ correspondant au signal de sortie V_2 , sont calculées à l'aide de la table ou courbe d'étalonnage.

5.6.4 Le temps τ entre le moment de l'ouverture de l'entrée du pyromètre et le moment où le signal de sortie atteint la valeur V_2 doit être déterminé à partir du signal de sortie enregistré. τ est le temps de réponse du pyromètre.

5.6.5 Si le pyromètre est équipé d'un dispositif indicateur gradué en unités de température, la procédure de détermination du temps de réponse doit être la suivante.

5.6.5.1 Le flux de rayonnement thermique émis par la source de rayonnement et frappant l'entrée du pyromètre doit être coupé complètement au moyen d'un écran opaque. L'écran doit être enlevé dix minutes plus tard. Avant d'enlever l'écran, la valeur finale d'indication du pyromètre, t_0 , doit être déterminée.

5.6.5.2 L'entrée du pyromètre étant ouverte, la lecture stabilisée t_1 est relevée, après quoi $t_2 = \eta \times (t_1 - t_0) + t_0$ est calculée.

5.6.5.3 L'entrée du pyromètre est fermée durant dix minutes puis réouverte en même temps qu'est déclenché un chronomètre pour mesurer le temps de réponse τ nécessaire à l'établissement de l'indication de la température t_2 .

5.7 Détermination de l'influence d'une variation de la température ambiante de fonctionnement du capteur du pyromètre

5.7.1 Le capteur du pyromètre à radiation totale, complet avec ses accessoires de protection (chemise d'eau), doit être placé en face de la source de rayonnement comme indiqué en 5.2.1 et 5.2.2.

5.7.2 La source de rayonnement doit être réglée à la température choisie conformément à 5.5.3.

5.7.3 L'eau doit circuler dans le dispositif de protection à la température normale de fonctionnement $t_k \pm 0,5$ °C, et le capteur du pyromètre doit être réchauffé ainsi durant 30 minutes au moins.

5.7.4 Lorsque la procédure décrite en 5.3.3 et 5.3.4 est achevée, l'erreur à la température normale de fonctionnement du boîtier du capteur, t_k , doit être calculée.

5.7.5 La procédure précédente doit être répétée pour d'autres températures de l'eau, à des valeurs multiples de 10 °C et comprises dans l'étendue de température ambiante spécifiée dans le document d'accompagnement.

5.7.6 La différence entre les erreurs déterminées à ces autres températures et à t_k , détermine l'influence de la variation de température ambiante.

5.7.7 L'influence de la variation de température ambiante autour des appareils secondaires du pyromètre, séparés du capteur, doit être déterminée à l'aide de méthodes d'essai normalisées des instruments de mesures électriques. Un signal électrique correspondant à la température indiquée en 5.5.3 doit être appliqué à l'entrée de l'appareil secondaire.

6 Contrôle métrologique

6.1 Les pyromètres à radiation totale doivent être étalonnés et vérifiés en utilisant des sources de rayonnement satisfaisant aux exigences de 4.1.1 et 4.1.2, et des instruments étalons conformes aux exigences de 4.2.2.

6.2 Si le capteur du pyromètre à radiation totale est séparé de l'appareil secondaire de mesures électriques et est fourni avec une table ou une courbe d'étalonnage, le capteur et l'appareil secondaire doivent être étalonnés indépendamment. Le capteur du pyromètre doit alors être vérifié conformément aux exigences du présent Document. L'appareil secondaire de mesurage doit être étalonné en tant qu'instrument de mesures électriques. Les valeurs des signaux électriques données par la table d'étalonnage pour le capteur aux températures indiquées dans le Tableau 1 doivent être appliquées à l'entrée de l'appareil secondaire.

L'erreur intrinsèque est la somme de l'erreur intrinsèque du capteur et de l'erreur intrinsèque de l'appareil de mesures électriques.

La fidélité est calculée comme la racine carrée de la somme des carrés des écarts types pour le capteur et pour l'appareil de mesures électriques.

6.3 Les résultats des étalonnages effectués conformément aux exigences du présent Document, doivent être confirmés par un certificat et par une marque sur le pyromètre, indiquant la délivrance de ce certificat.