



Plus de précision

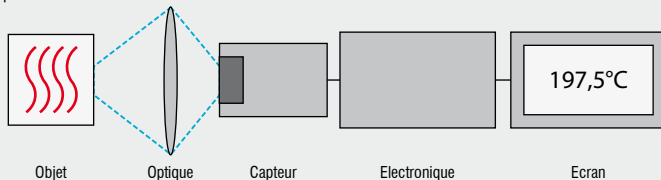
Mesure thermique sans contact :
fondements



Seul le monde exposé au spectre visible est percevable par l'œil humain. La lumière visible ne constitue qu'une petite partie du spectre de rayonnement existant, sa majeure partie n'étant pas visible. Le rayonnement d'autres domaines spectraux fournit toujours des informations supplémentaires.

Le système de mesure thermique infrarouge

Chaque corps dont la température est supérieure au point zéro absolu de $-273,15^{\circ}\text{C}$ (= 0 Kelvin) émet en sa surface un rayonnement électromagnétique proportionnel à sa propre température appelé rayonnement propre. Une partie de ce rayonnement est un rayonnement infrarouge pouvant être utilisé pour la mesure thermique. Ce rayonnement traverse l'atmosphère et est focalisé à l'aide d'une lentille (optique d'entrée) sur un élément de détection qui génère un signal électrique proportionnel au rayonnement. Le signal est amplifié et transformé via traitement numérique subséquent en une grandeur de sortie proportionnelle à la température de l'objet. La valeur de mesure peut faire l'objet d'un affichage sur écran ou être émise sous forme de signal analogique permettant un simple raccordement aux systèmes de régulation de la commande de processus.



Système infrarouge

Les avantages de la mesure thermique sans contact sont évidents :

- Mesure possible sur des objets en mouvement, difficilement accessibles ou très chauds
- Temps de réaction et de mesure très courts
- Mesure sans effet rétroactif, aucune influence de l'objet à mesurer
- Mesure non destructive
- Longévité du point de mesure, aucune usure

A noter :

- L'objet de mesure doit être visible pour le capteur
- L'optique du capteur doit être protégée des souillures
- Seules les températures superficielles peuvent être mesurées

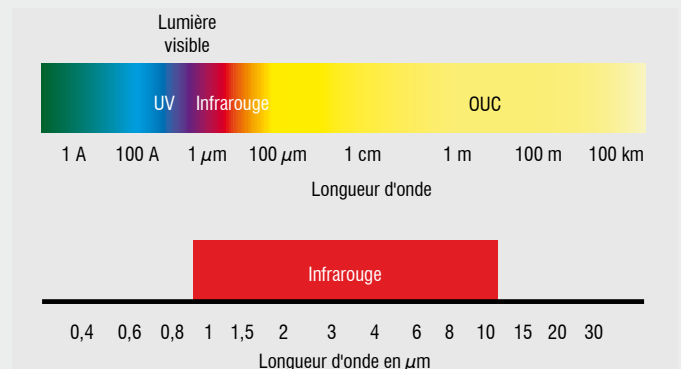


William Herschel (1738 - 1822)



La découverte du rayonnement infrarouge

C'est en recherchant de nouveaux matériaux optiques que William Herschel fit par hasard la découverte du rayonnement infrarouge en 1800. Il noircit la pointe d'un thermomètre en mercure sensible qu'il utilisa comme dispositif de mesure pour tester le réchauffement des différentes couleurs du spectre se formant sur une table en guidant la lumière du soleil à travers un prisme de verre. En déplaçant le thermomètre coloré en noir à travers les couleurs du spectre, il s'est révélé que la température augmentait de façon continue du violet au rouge. En déplaçant le thermomètre dans le domaine sombre, au-delà de l'extrémité rouge du spectre, Herschel put constater que le réchauffement continuait d'augmenter. Il finit par trouver le point de réchauffement maximal bien au-delà du domaine rouge. Ce domaine est aujourd'hui appelé « domaine de longueurs d'ondes infrarouge ».



Le spectre électromagnétique incluant la plage infrarouge utilisée par les pyromètres.

Spectre de rayonnement électromagnétique

Par spectre, on désigne au sens strict et physique du terme, l'intensité d'un mélange d'ondes électromagnétiques comme fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence.

Le spectre de rayonnement électromagnétique s'étend sur un domaine de longueurs d'ondes d'environ 23 puissances de dix et se compose de différentes sections se distinguant les unes des autres en termes de naissance, génération et d'utilisation du rayonnement. Tous les types de rayonnements électromagnétiques obéissent aux mêmes lois de diffraction, de réflexion, de réflexion et de polarisation. Leur vitesse d'expansion est identique à la vitesse de la lumière dans des conditions normales, c.-à-d. que le produit obtenu à partir de la longueur d'onde et la fréquence est constant :

$$\gamma \cdot f = c$$

Le domaine spectral infrarouge n'occupe qu'une partie limitée de l'ensemble du spectre de rayonnement électromagnétique. Il s'étend de la fin du domaine spectral visible d'environ $0,78 \mu\text{m}$ jusqu'à des longueurs d'ondes de $1000 \mu\text{m}$.

Seul le domaine de longueurs d'ondes allant de 0,7 à 14 μm se révèle être intéressant pour la mesure thermique IR. Au-delà de cette longueur d'onde, les quantités d'énergie sont si faibles que les détecteurs ne sont pas assez sensibles pour les mesurer.

Fondements physiques

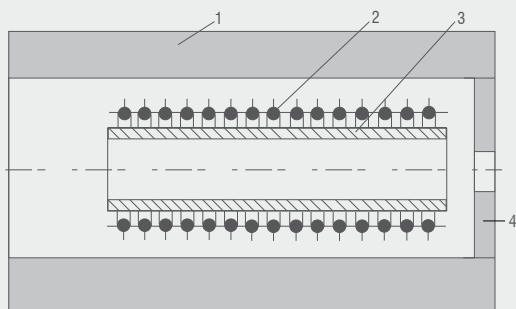
Vers 1900, Planck, Stefan, Boltzmann, Wien et Kirchhoff définirent plus en détail le spectre électromagnétique et établirent des relations qualitatives et quantitatives pour décrire l'énergie infrarouge.

Corps noir

Un corps noir est un corps qui absorbe tous les rayons entrant en contact avec lui. Aucune réflexion ou transmission ne s'y produit.

$$\alpha = \varepsilon = 1 \quad (\alpha \text{ degré d'absorption, } \varepsilon \text{ degré d'émission})$$

Un corps noir réfléchit pour chaque longueur d'onde l'énergie maximale possible pour tous les émetteurs possibles. La densité du rayon dépend de l'angle. Le corps noir constitue une base de compréhension des fondements physiques de la technique de mesure thermique sans contact et du calibrage des thermomètres infrarouges.



Vue en coupe d'un corps noir :

1 Tube céramique, 2 Chauffage, 3 Tube en Al₂O₃, 4 Masque

La structure d'un corps noir est en principe très simple. Un corps creux chauffable est doté d'un petit trou sur une extrémité. Si ce corps est amené à une température certaine et si cet espace creux se trouve en équilibre thermique, un rayonnement noir idéal de la température réglée sort alors du trou. Selon la plage de température et l'utilisation prévue, la structure de tels corps noirs dépend du matériau et de la structure géométrique. Si le trou de la paroi est très petit par rapport à la surface totale, la perturbation de l'état idéal peut alors être considérée comme étant minimale. Si l'on regarde par exemple à l'aide d'une sonde de mesure uniquement sur ce trou, on peut alors voir le rayonnement thermique en provenance de ce dernier comme rayonnement noir et calibrer l'appareil de mesure à l'aide de ce dernier. Les modèles les plus simples font dans la pratique appel à des surfaces dotées de couches de vernis pigmentés et présentant des degrés d'absorption et d'émission allant jusqu'à 99% dans le domaine de longueurs d'ondes souhaité. Ceci se révèle souvent être suffisant pour les calibrages lors de mesures pratiques.

Les lois de rayonnement de l'corps noir

La loi du rayonnement de Planck représente le lien le plus fondamental pour la mesure thermique sans contact. Elle décrit le rayonnement spécifique spectral $M_{\lambda,s}$ de l'corps noir dans le demi-espace en fonction de sa température T et de la longueur d'onde considérée λ .

$$M_{\lambda,s} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1}$$

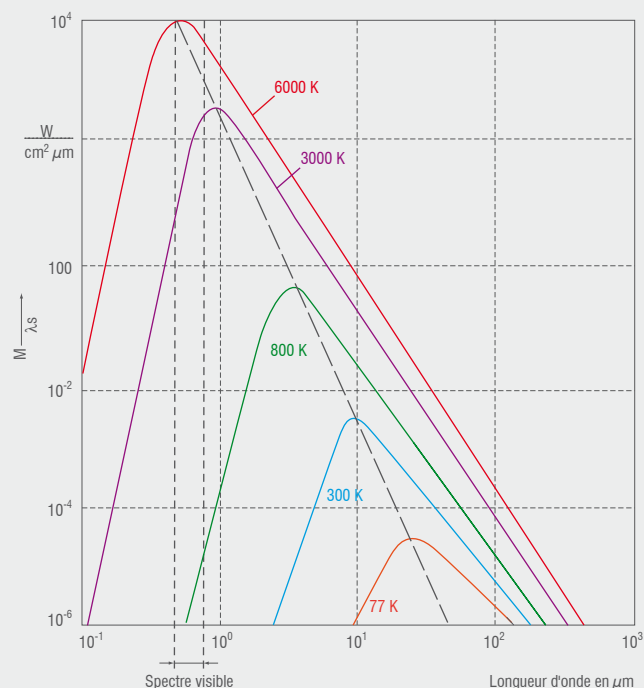
C = Vitesse de la lumière

$$C_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W m}^2$$

$$C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ K m}$$

h = Quantum d'action de Planck

La représentation graphique de l'équation en fonction de λ avec diverses températures comme paramètres est illustrée sur la figure suivante.



Rayonnement spécifique spectral $M_{\lambda,s}$ de l'corps noir en fonction de la longueur d'onde

On peut voir que le sommet du rayonnement spécifique spectral se déplace vers des longueurs d'ondes plus courtes, plus la température augmente.

On peut en déduire une multitude d'autres rapports, dont les deux suivants. L'intégration de l'intensité de rayonnement spectrale sur toutes les longueurs d'ondes de zéro à l'infini permet d'obtenir la valeur pour le rayonnement total émis par le corps. On désigne ce rapport de Loi de Stefan Boltzmann.

$$M_{\lambda,s} = \sigma \cdot T^4 \quad [\text{Watt m}^2] \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W M}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

La totalité du rayonnement émis par un corps noir sur la totalité du domaine de longueurs d'ondes augmente proportionnellement à la quatrième puissance de sa température absolue. La représentation graphique de la loi du rayonnement de Planck montre que la longueur d'onde pour laquelle le rayonnement émis d'un corps noir atteint son sommet, se déplace en cas de modification de la température. La loi de déplacement de Wien se déduit par différenciation à partir de l'équation de Planck.

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

La longueur d'onde pour laquelle le rayonnement atteint son plus haut sommet, se déplace vers la zone à onde faible au fur et à mesure que la température augmente.

Corps gris

Tous les corps ne correspondent pas à l'idéal de l'objet noir. De nombreux corps émettent un rayonnement plus faible à la même température. L'émissivité ϵ indique le rapport entre la valeur de rayonnement réelle et l'objet noir. Il est compris entre zéro et un. Outre le rayonnement émis par la surface d'un objet, un capteur infrarouge reçoit également le rayonnement réfléchi en provenance de l'environnement et dans certaines circonstances par le rayonnement infrarouge passant à travers le corps.

La règle suivante s'applique: $\epsilon + \varphi + \tau = 1$

ϵ l'émissivité

φ le degré de réflexion

τ le degré de transmission

La plupart des corps n'ont pas de transmission dans le domaine infrarouge. La formule s'en trouve ainsi simplifiée :

$$\epsilon + \varphi = 1$$

Ceci se révèle être particulièrement pratique car il est souvent plus simple de mesurer la réflexion que de déterminer l'émissivité.

Structure et mode de fonctionnement des thermomètres infrarouges

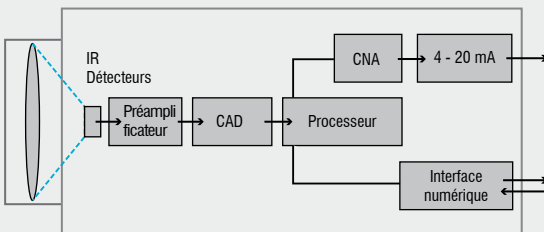


Schéma fonctionnel d'un thermomètre infrarouge

Cette figure montre la structure de base d'un thermomètre infrarouge. Le rayonnement infrarouge émis par l'objet à mesurer est focalisé sur un élément de détection infrarouge à l'aide d'une optique d'entrée. L'élément de détection génère un signal électrique correspondant pouvant ensuite être amplifié et traité. À l'aide d'un traitement numérique des signaux, le signal en question est transformé en une grandeur d'émission proportionnelle à la température de l'objet, puis affiché sur un écran ou émis sous forme de signal analogique. Pour compenser les influences de la température ambiante, il est fait appel à un second détecteur qui mesure la température de l'appareil de mesure ou de son canal optique. Le calcul de la température de l'objet à mesurer s'effectue donc en trois étapes :

1. Transformation du rayonnement infrarouge reçu en signal électrique
2. Compensation du rayonnement de fond de l'appareil et de l'objet
3. Linéarisation et émission de la température.

Outre l'affichage de la température sur écran, il existe comme grandeurs de sortie des sorties standardisées sous forme de 0/4-20 mA, 0-10 V linéaires ainsi que des signaux d'éléments thermiques qui permettent un simple raccordement à des systèmes de régulation de la commande de processus. Par ailleurs, la plupart des thermomètres infrarouges utilisés à ce jour disposent, en raison du traitement numérique des valeurs de mesure en interne, également d'interfaces numériques (USB, RS232, RS485, Ethernet, Profibus) pour l'émission des données et pour l'accès aux paramètres des appareils.

Détecteurs infrarouges

Le principal élément des thermomètres infrarouges est le capteur de rayonnement également appelé détecteur.

On distingue 2 groupes principaux de détecteurs infrarouges.

Détecteurs infrarouges

Détecteurs thermiques

Détecteurs thermopiles

Détecteur pyroélectrique

Bolomètre FPA (pour caméras infrarouges)

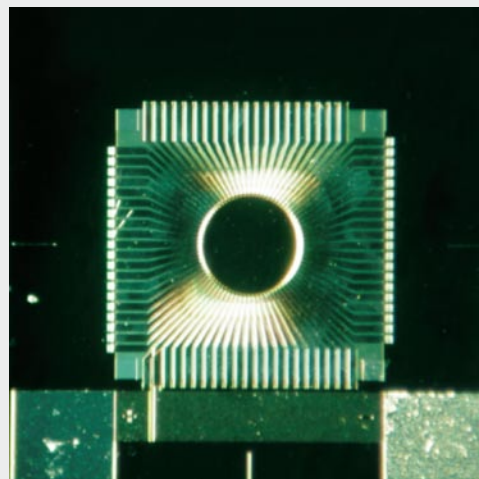
Détecteurs quantiques

Détecteurs thermiques

Dans le cas de ces capteurs, la température de l'élément de détection change par absorption de rayonnement électromagnétique. Le changement de température entraîne une modification d'une propriété dépendante de la température de ce détecteur qui est analysée électriquement et constitue une dimension pour l'énergie absorbée.

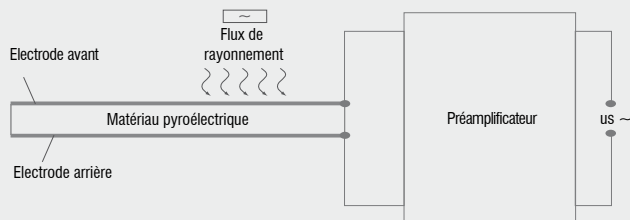
Éléments thermiques de rayonnement (colonnes thermiques)

Si la zone de jonction de deux métaux différents est réchauffée, ceci donne naissance à une tension électrique due à l'effet thermoélectrique. Cet effet fait l'objet d'une utilisation technique de longue date dans le domaine de la mesure thermique avec contact à l'aide d'éléments thermiques. Si le réchauffement de la zone de jonction est provoqué par absorption du rayonnement, ce composant est alors qualifié d'élément thermique de rayonnement. Sur la photo, vous pouvez voir des éléments thermiques en bismuth / antimoine agencés en cercle autour d'une surface de détection sur une puce. Si la surface de détection se réchauffe, une tension de signal proportionnelle à la température est générée qui peut être prise au niveau des îles de bondage.



Colonne thermique TS80

Détecteurs pyroélectriques



Structure de base d'un détecteur pyroélectrique

Cette figure illustre la structure de base d'un détecteur pyroélectrique. L'élément sensible se compose d'un matériau pyroélectrique avec deux électrodes métallisées par évaporation. La modification de température de l'élément sensible provoquée par le rayonnement infrarouge lors de l'absorption entraîne une modification du chargement de la surface due à l'effet pyroélectrique. Il en résulte un signal de sortie électrique traité dans un préamplificateur. En raison de la nature de la génération de la charge dans l'élément pyroélectrique, le flux de rayonnement doit être interrompu en alternance de manière continue (Chopperung). L'avantage du renforcement à sélection de fréquence qui suit réside dans un rapport signal / bruit de bonne qualité.

Bolomètre

Les bolomètres utilisent la dépendance thermique de la résistance électrique. L'élément sensible se compose d'une résistance dont la valeur change lors de l'absorption de rayonnement de chaleur. La modification de la résistance entraîne une modification de la tension du signal supérieure à la résistance du bolomètre. Afin d'atteindre une haute sensibilité ainsi qu'un degré de détection spécifique élevé, il convient particulièrement d'utiliser un matériau avec un coefficient élevé de température de la résistance électrique. Les bolomètres fonctionnant à température ambiante utilisent non seulement le coefficient de température de la résistance des métaux (couche noire et bolomètre à couche fine par ex.), mais aussi celui des semi-conducteurs (bolomètre thermistor par ex.). Les développements technologiques suivants caractérisent les bolomètres utilisés dans les appareils à image infrarouge :

La technologie de semi-conducteur remplace les scanners mécaniques. Les FPA (Focal Plane Arrays) sont fabriqués sur la base de bolomètres à couche fine. Pour ce faire, il est fait appel à du VOX (Pentaoxyde de vanadium) ou du silicium amorphe comme technologies alternatives. Ces technologies permettent d'améliorer considérablement le rapport qualité / prix.

Détecteurs quantiques

Les détecteurs quantiques se distinguent principalement des détecteurs thermiques par leur capacité à réagir plus vite au rayonnement absorbé. Le mode de fonctionnement des détecteurs quantiques repose sur l'effet photoélectrique. Les photons des électrons du rayonnement infrarouge dans le matériau semi-conducteur sont élevés à des niveaux énergétiques plus élevés. Lors de la chute, un signal électrique (tension ou courant) est généré et une modification de la résistance électrique est également possible. Ces signaux peuvent être analysés de manière précise. Les détecteurs quantiques sont très rapides (ns à μ s). La modification de température de l'élément sensible d'un détecteur thermique est un processus relativement lent. Si lent que les constantes de temps des détecteurs thermiques sont généralement plus grandes que celles

des détecteurs quantiques. En gros, on peut dire que les détecteurs thermiques ont des constantes de temps de l'ordre de la milliseconde tandis que les détecteurs quantiques ont des constantes de temps allant de la nanoseconde à la microseconde. Malgré le développement fulgurant réalisé dans le domaine des détecteurs quantiques, il existe de nombreux cas d'application pour lesquels les détecteurs thermiques sont mieux adaptés que les détecteurs quantiques. A ce jour, ces deux types de détecteurs sont tout à fait défendables.

Transformation du rayonnement infrarouge reçu en signal électrique et calcul de la température de l'objet

Le signal électrique d'un détecteur s'obtient selon la loi de Stefan Boltzmann :

$$U \sim \varepsilon T_{obj}^4$$

Etant donné que le rayonnement ambiant réfléchi autant que le rayonnement propre du thermomètre infrarouge doivent être pris en compte, la formule devient la suivante :

$$U = C (\varepsilon T_{obj}^4 + (1 - \varepsilon) T_{amb}^4 - T_{pyr}^4)$$

- U Signal du détecteur
- T_{obj} Température de l'objet
- T_{amb} Température du rayonnement de fond
- T_{pyr} Température de l'appareil
- C Constante spécifique à l'appareil

$$\rho = 1 - \varepsilon \text{ L'émissivité de l'objet}$$

Etant donné que les thermomètres infrarouges ne fonctionnent la plupart du temps pas sur la totalité du domaine de longueurs d'ondes, l'exposant n dépend de la longueur d'onde λ . Pour les longueurs d'ondes allant de 1 à 14 μ m, n est compris dans une plage allant de 17 ... 1, (pour les grandes longueurs d'ondes, dans une plage de 2 ... 3 et pour les longueurs d'ondes courtes, dans une plage de 15 ... 7).

$$U = C \cdot (\varepsilon T_{obj}^n + (1 - \varepsilon) \cdot T_{amb}^n - T_{pyr}^n)$$

La température de l'objet se calcule ainsi de la façon suivante :

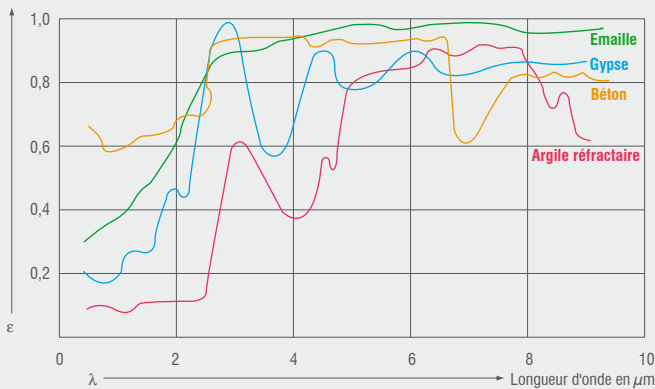
$$T_{obj} = \sqrt[n]{\frac{U - C \cdot T_{amb}^n + C \varepsilon T_{amb}^n + C \cdot T_{pyr}^n}{C \varepsilon}}$$

Les résultats de ces calculs sont enregistrés pour l'ensemble des températures possibles sous forme de famille de courbes dans l'EEPROM du thermomètre infrarouge. Ceci garantit un accès rapide aux données ainsi qu'un calcul rapide de la température.

L'émissivité

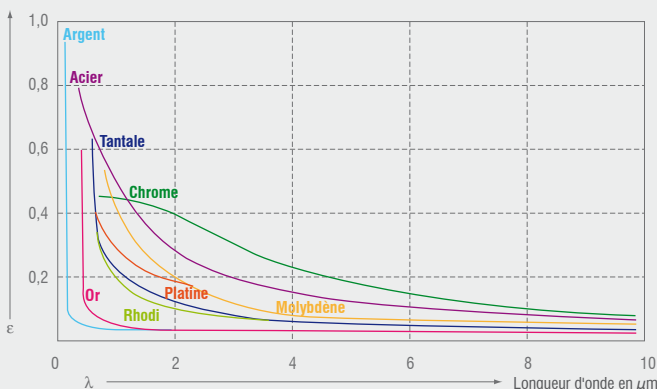
Les équations montrent que l'émissivité ϵ est très importante lorsque l'on souhaite déterminer la température à l'aide d'une mesure de rayonnement. L'émissivité est décisif pour le rapport des rayonnements thermiques émis par un corps gris et un corps noir à température identique. Il est de 1 maximum pour le corps noir. On désigne du corps gris un objet possédant la même émissivité pour toutes les longueurs d'ondes et émettant moins de rayonnement infrarouge qu'un corps noir ($\epsilon < 1$). Les corps dont l'émissivité dépend également de la température et de la longueur d'onde, comme par exemple les métaux, sont appelés corps non gris ou également émetteurs sélectifs.

En théorie, l'émissivité dépend du matériau, de la nature de sa surface, de la température, de la longueur d'onde et éventuellement de la configuration de mesure utilisée. Un grand nombre de matériaux non métalliques présentent, tout du moins dans le domaine spectral à longueurs d'ondes élevées et indépendamment de la structure de leur surface, un degré d'émission élevé et relativement constant.



Degré d'émission spectral de quelques matériaux

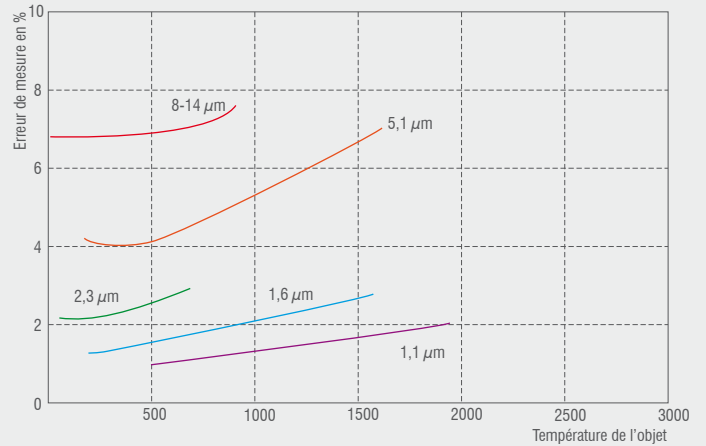
Les métaux se caractérisent en règle générale par un degré d'émission faible, fortement dépendant de la structure de la surface et tendant vers d'importantes longueurs d'ondes.



Degré d'émission spectral des métaux

Mesure thermique des métaux

Cette dépendance précédemment mentionnée peut entraîner des résultats de mesure différents et non fiables. Lors du choix des appareils de mesure thermique appropriés, il convient de veiller à ce que le rayonnement infrarouge soit mesuré avec une longueur d'onde certaine et une plage de température pour laquelle les métaux présentent un degré d'émission relativement élevé. La figure montre qu'il est judicieux d'utiliser la plus petite longueur d'onde disponible pour la mesure car pour de nombreux métaux, l'erreur de mesure augmente avec la longueur d'onde.

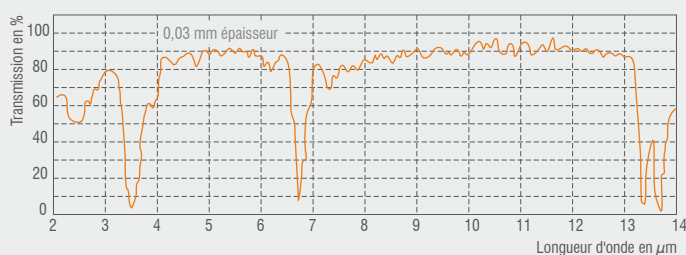


Erreur de mesure en cas de degré d'émission réglé avec une erreur de 10 % en fonction de la longueur d'onde et de la température de l'objet.

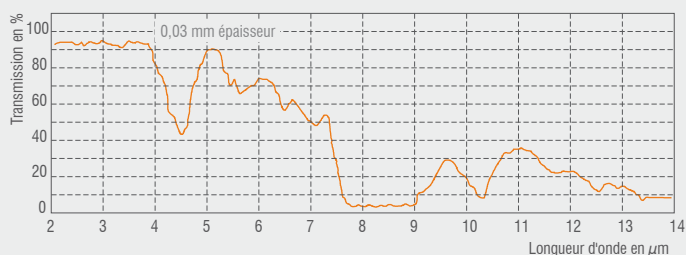
Pour les métaux, la longueur d'onde optimale est généralement comprise, à températures élevées, entre 0,8 et 1,0 μm à la limite du domaine visible. Les longueurs d'ondes comprises entre 1,6 μm et 2,3 μm se prêtent de manière idéale pour les mesures à températures faibles.

Mesure thermique des plastiques

Les degrés de transmission des films plastiques varient en fonction de la longueur d'onde. Leur comportement est proportionnel à l'épaisseur, les matériaux fins étant davantage perméables que les plastiques épais. Des mesures thermiques optimales peuvent être réalisées avec des longueurs d'ondes pour lesquelles le degré de transmission correspond approximativement à zéro, indépendamment de l'épaisseur. Le polyéthylène, le polypropylène, le nylon et le polystyrène sont p. ex. imperméables aux IR pour une longueur d'onde de 3,43 μm , le polyester, le polyuréthane, le téflon, le FEP et le polyamide le sont quant à eux pour une longueur d'onde de 7,9 μm . Pour les films plus épais (> 0,4 mm) et pigmentés, il est possible de sélectionner une longueur d'onde comprise entre 8 et 14 μm pour la mesure thermique. Le fabricant de l'appareil infrarouge peut déterminer, à l'aide d'un échantillon de matériau plastique, le domaine spectral optimal pour la mesure. Le degré de réflexion de la quasi-totalité des plastiques est compris entre 5 et 10 %.



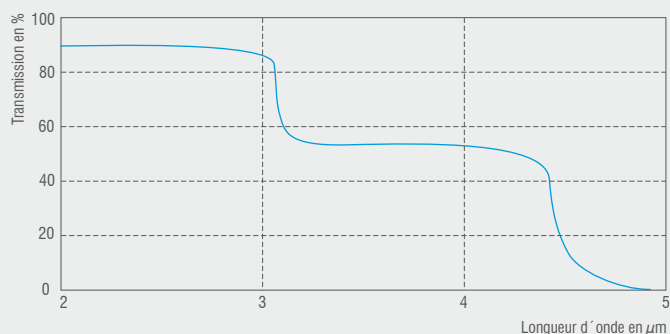
Perméabilité spectrale des films plastiques en polyéthylène



Perméabilité spectrale des films plastiques en polyester

Mesure thermique sur et à travers le verre

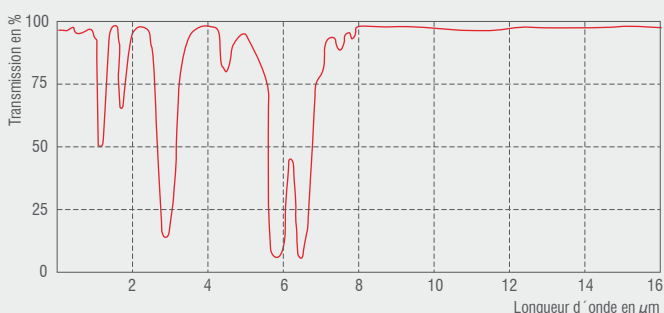
Si la mesure thermique sur verre est réalisée à l'aide de thermomètres infrarouges, il convient de tenir compte de la réflexion et de la transmission. Le choix minutieux de la longueur d'onde permet la réalisation de mesures à la surface du verre ainsi qu'en profondeur. Les longueurs d'onde $1,0 \mu\text{m}$, $1,6 \mu\text{m}$ ou $2,3 \mu\text{m}$ sont idéales pour les mesures en dessous de la surface ou à travers le verre, celles de $5,1 \mu\text{m}$ sont conseillées pour les mesures de températures superficielles. Pour les températures faibles, il est conseillé d'utiliser des longueurs d'ondes comprises entre 8 et $14 \mu\text{m}$ et de régler l'émissivité sur 0,85 pour la compensation de la réflexion. Il est judicieux de faire appel à un appareil de mesure avec temps de réaction court car, en tant que mauvais conducteur thermique, le verre peut modifier rapidement la température de la surface.



Perméabilité spectrale du verre

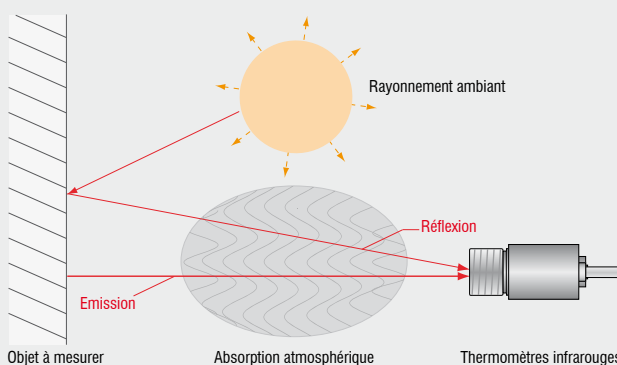
Influences ambiantes

La figure montre que la perméabilité (transmission) de l'air dépend très fortement de la longueur d'onde. Des domaines avec évaporation élevée alternent avec des domaines de haute perméabilité, phénomène appelé « Fenêtres atmosphériques ». Dans la fenêtre atmosphérique à onde longue ($8 \dots 14 \mu\text{m}$), la perméabilité est uniformément élevée. Le domaine à onde courte se caractérise quant à lui par des affaiblissements dus à l'atmosphère susceptibles d'entraîner des résultats de mesure erronés. Les fenêtres de mesure typiques sont ici $1,1 \dots 1,7 \mu\text{m}$, $2 \dots 2,5 \mu\text{m}$ et $3 \dots 5 \mu\text{m}$.



Degré de transmission spectral de l'air (1 m, 32°C, 75 % r. F.)

Les sources de rayonnement thermique situées à proximité de l'objet de mesure constituent un facteur d'influence supplémentaire. Afin d'éviter toute déformation des valeurs de mesure due à des températures ambiantes élevées (p. ex. lors de la mesure thermique des métaux dans les fours industriels dont les parois sont plus chaudes que l'objet à mesurer), une compensation réglable de l'influence de la température ambiante s'effectue déjà dans l'appareil de mesure infrarouge. On obtient des résultats de mesure plus précis à l'aide d'une seconde tête de mesure thermique pour la compensation automatique de la température ambiante et un degré d'émission correctement réglé.



Compensation du rayonnement environnant

La poussière, la fumée et les particules en suspension dans l'atmosphère peuvent encrasser l'optique et entraîner des résultats de mesure erronés. L'utilisation de souffleuses (tubulure vissable avec raccord à air comprimé) empêche le dépôt de particules devant l'optique. Des accessoires de refroidissement de l'air et de l'eau permettent l'utilisation de thermomètres infrarouges dans des conditions ambiantes rudes.

Détermination expérimentale des degrés d'émission

Vous trouverez en annexe les données d'émission de différents matériaux issues de la presse spécialisée et des valeurs de mesure. Il existe différents procédés pour déterminer l'émissivité vous-même.

Méthode 1 : A l'aide d'un élément thermique

A l'aide d'un élément thermique avec contact, il est par la suite possible, simultanément avec la mesure de rayonnement, de déterminer en un point la vraie température de la surface. L'émissivité est ensuite réglé de manière à ce que la température mesurée par l'appareil à infrarouges concorde avec la valeur de mesure de l'élément thermique. Veiller à ce que la sonde thermique avec contact se caractérise par un bon contact thermique et une faible dissipation thermique.

Méthode 2 : Génération d'un corps noir à l'aide d'un échantillon test prélevé du matériau à mesurer

Les matériaux caractérisés par une bonne conductibilité thermique peuvent être dotés d'un trou dont le rapport diamètre / profondeur du trou est inférieur ou égal à 1/3. Ce trou agit ainsi quasiment comme un corps noir avec un ε proche de un. En raison des propriétés optiques de l'appareil et de la distance de mesure, il convient de veiller à ce que l'appareil de mesure vise uniquement le fond du trou lors de la mesure. Par la suite, l'émissivité est déterminé.

Méthode 3 : A l'aide d'un degré d'émission de référence

Une bande ou de la peinture avec degré d'émission connu est appliquée sur l'objet à mesurer. Ce degré d'émission est réglé sur l'appareil de mesure infrarouge et la valeur thermique de la bande ou de la peinture est mesurée. La mesure s'effectue ensuite à côté de cette zone de référence. L'émissivité est réajusté jusqu'à ce que la même température soit mesurée que sur la bande / la peinture. L'émissivité peut ensuite être lu.

Structure des thermomètres infrarouges

Les thermomètres infrarouges sont fabriqués dans une multitude de configurations différant les unes des autres en termes d'optique, d'électronique, de technologie, de taille et de boîtier. Tous ont cependant pour point commun la chaîne de traitement des signaux au début de laquelle se trouve un signal de rayonnement infrarouge et à la fin de laquelle se trouve un signal de sortie de température électronique.

Optique et fenêtre

Au début de la chaîne de mesure se trouve un système optique se composant généralement d'une lentille. Celle-ci reçoit l'énergie infrarouge rayonnée par un spot de mesure et la focalise sur un détecteur. Lors de la mesure, il est très important que l'objet à mesurer soit plus grand ou égal au champ de vision du capteur afin de ne pas obtenir une valeur de mesure erronée. Le rapport de distance décrit la taille du spot de mesure pour une distance donnée. Elle est définie ainsi : D:S – rapport entre la distance de mesure (distance appareil de mesure / objet à mesurer) et le diamètre du spot de mesure. La résolution optique s'améliore au fur et à mesure que les valeurs augmentent.

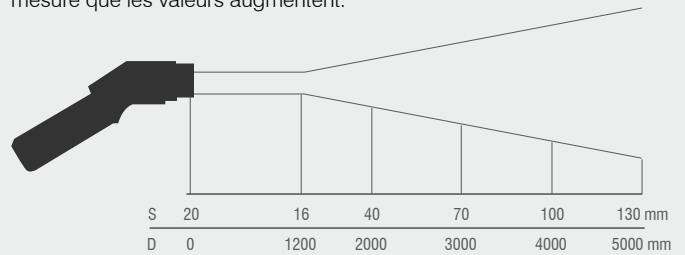
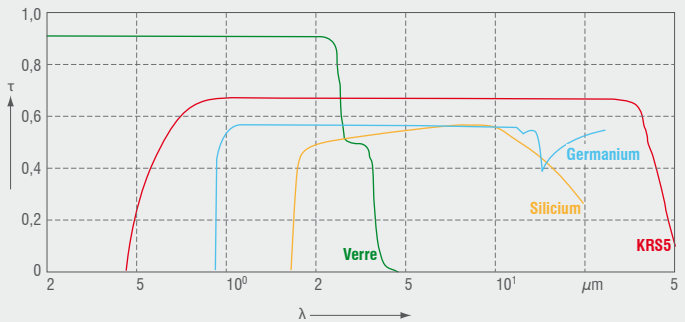


Diagramme optique d'un capteur infrarouge (thermoMETER LS)

Les optiques infrarouges s'utilisent, en fonction de leur matériau, pour certains domaines de longueurs d'ondes uniquement. La figure suivante montre des lentilles et matériaux de fenêtres typiques pour thermomètres infrarouges avec leurs domaines de longueurs d'ondes.



Transmission de matériaux infrarouges typiques (1 mm d'épaisseur)

Pour certaines mesures, comme p. ex. celles réalisées dans les récipients de réaction, les fours ou les chambres à vide, il est généralement nécessaire de mesurer à travers une fenêtre de mesure appropriée. Les valeurs de transmission de la fenêtre doivent, lors du choix d'un matériau de fenêtre, être adaptées à la sensibilité spectrale du capteur. Le verre de quartz se prête à une utilisation à des températures de mesure élevées, avec un recours à une longueur d'onde de <3 µm, pour les températures faibles comprises dans une plage allant de 8 à 14 µm, il convient d'utiliser des matériaux spéciaux perméables aux infrarouges tels que le germanium, l'AMTIR ou le sélénite de zinc. Lors de la sélection de la fenêtre, il convient également de tenir compte des paramètres suivants : diamètre de la fenêtre, exigences thermiques, différence de pression maximale. Pour aligner le capteur sur l'objet à mesurer (p. ex. récipient sous vide), il peut s'avérer judicieux d'utiliser des matériaux de fenêtre qui sont également transparents dans le spectre visible.

Le tableau montre un aperçu des différents matériaux de fenêtre

Matériau de fenêtre / propriétés	Al2O3	SiO2	CaF2	BaF2	AMTIR	ZnS
Domaine de longueurs d'ondes infrarouges recommandé en μm	1...4	1...2,5	2...8	2...8	3...14	2...14
Température max. de la fenêtre en °C	1800	900	600	500	300	250
Transmission dans le domaine visible	oui	oui	oui	oui	no	oui
Résistance à l'humidité, aux acides, aux composés d'ammoniac	Très bonne	Très bonne	Faible	Faible	Bonne	Bonne

Les fenêtres avec couches anti-réflexion se caractérisent par une transmission nettement plus élevée (jusqu'à 95%). La perte de transmission ainsi que le réglage de la transmission peuvent être rectifiés à partir de la fenêtre dans la mesure où le fabricant a indiqué la transmission pour le domaine de longueur d'onde correspondant. Elle peut autrement être déterminée de façon expérimentale à l'aide du thermomètre infrarouge utilisé et d'un émetteur de référence.

Techniques de visée : les nouvelles tendances

De nouveaux principes de mesure ainsi que de nouvelles techniques de visée permettent une utilisation de plus en plus précise des appareils de mesure thermique infrarouge. Les développements réalisés dans le domaine des lasers solides sont adaptés en marquant les tailles des spots de mesure à l'aide de configurations à lasers multiples. Les tailles réelles des spots de mesure dans le champ de l'objet sont affichées à l'aide de technique de visée laser cruciformes.

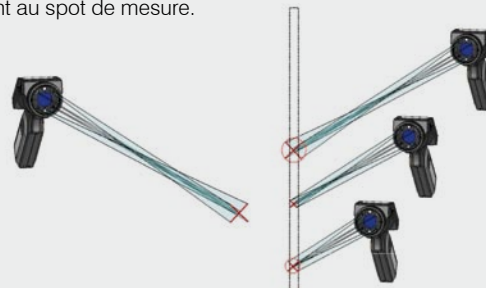
Développement d'optiques hautes performances en combinaison avec les techniques de visée laser cruciformes

Les thermomètres infrarouges manuels simples et à faibles coûts utilisent un pointeur laser à un point pour marquer le centre du spot de mesure à l'aide d'une certaine erreur d'axe parallèle. Il reste à l'utilisateur d'estimer, à partir du diagramme du spot de mesure et de la distance estimée, la taille du spot de mesure. Si l'objet à mesurer n'occupe qu'une seule partie du spot de mesure, les augmentations de la température sont uniquement représentées sous forme de valeur moyenne entre la part superficielle chaude et la part froide située autour de cette surface. Si une connexion électrique présente par exemple une résistance ohmique plus élevée en raison d'un contact corrodé et se réchauffe ainsi de manière inadmissible, ceci sera alors représenté uniquement sous forme de réchauffement faible pour les objets de petite taille et les spots de mesure trop importants, si bien que les situations potentiellement dangereuses ne seront pas reconnues. Pour afficher les spots de mesure dans leur taille réelle, des appareils de visée optiques dotés d'un marquage des tailles dans leur réticule et permettant ainsi une visée précise, ont été développés. En raison de la maniabilité considérablement plus confortable et sûre des pyromètres laser, on a essayé, à l'aide de techniques d'éclairage laser, d'afficher la taille du spot de mesure, indépendamment de la surface, conformément aux rapports représentés sur le diagramme du spot de mesure.

Deux rayons laser gauches en provenance de l'optique décrivent la contraction du rayon de mesure ainsi que son élargissement sur de grandes distances. L'indication du diamètre du spot de mesure s'effectue cependant uniquement à l'aide de deux points sur sa circonférence. En raison du design, la position de l'angle de ces points laser sur le cercle de mesure change, ce qui complique souvent la visée.

Le principe de réticule

Le recours à de nouvelles technologies d'éclairage laser a permis de représenter les spots de mesure des thermomètres infrarouges sous forme de réticule à la bonne taille dont les dimensions correspondent exactement au spot de mesure.



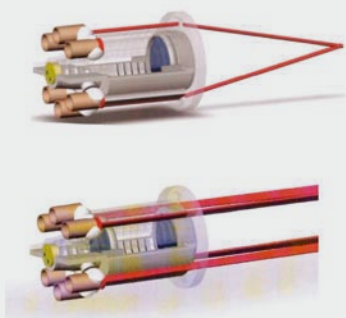
Thermomètres infrarouges avec appareil de visée laser cruciforme pour marquage exact du champ de mesure

Quatre diodes laser agencées de manière symétrique autour du canal de mesure optique infrarouge sont dotées de générateurs linéaires qui génèrent une ligne de longueur définie dans la distance de point focal déterminée par l'optique. Des générateurs linéaires opposés par paire recouvrent, au point focal, entièrement les lignes laser qu'ils projettent de manière à ce qu'un capteur de pression différentielle ou un réticule naissant décrive exactement le diamètre du spot de mesure. Pour les distances de mesure raccourcies ou prolongées, ce recouvrement s'effectue uniquement partiellement, si bien que pour l'utilisateur, la longueur de ligne et donc la taille de la croix de mesure change. À l'aide de cette technologie, il est pour la première fois possible de mesurer les dimensions du spot de mesure de manière claire. Ainsi, la praticabilité des appareils dotés de bonnes performances optiques est considérablement améliorée.

La commutation du point focal

Outre les distances de mesure optimales d'env. 0,75 à 2,5 mètres courantes dans les domaines de la réparation électrique et du contrôle qualité industriel, les utilisateurs souhaitent également souvent détecter des objets de tailles considérablement plus petites situés à des distances plus courtes. C'est pourquoi des appareils de mesure permettant une focalisation dans certaines limites ont été mis au point. Cependant, il releva toujours du défi technique de générer des spots de mesure d'une taille inférieure au millimètre.

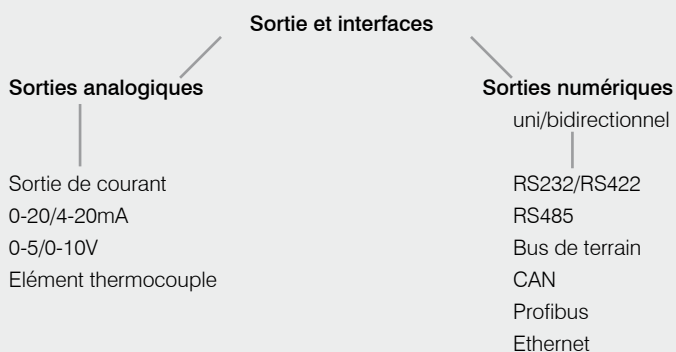
De nouveaux produits font désormais appel à une technologie nouvelle permettant de commuter une optique à deux lentilles sur de très petits spots de mesure par réglage numérique de la position interne de la lentille – comme pour une image macro des appareils-photos numériques. Il en résulte un petit spot de mesure, toutefois uniquement à une distance constante. Il suffit de s'approcher ou de s'éloigner de l'objet à mesurer pour voir le spot de mesure s'agrandir rapidement. À l'aide de deux faisceaux laser formant une croix présentant un diamètre de point laser de exactement 1 millimètre dans la plus petite position du spot de mesure, il est possible de représenter aussi bien la distance optimale que la taille du spot de mesure. La figure ci-dessous montre le système optique d'un thermomètre infrarouge moderne permettant un réglage de la position de la lentille et dans lequel différents systèmes d'éclairage laser garantissent un affichage du spot de mesure correct en termes de taille.



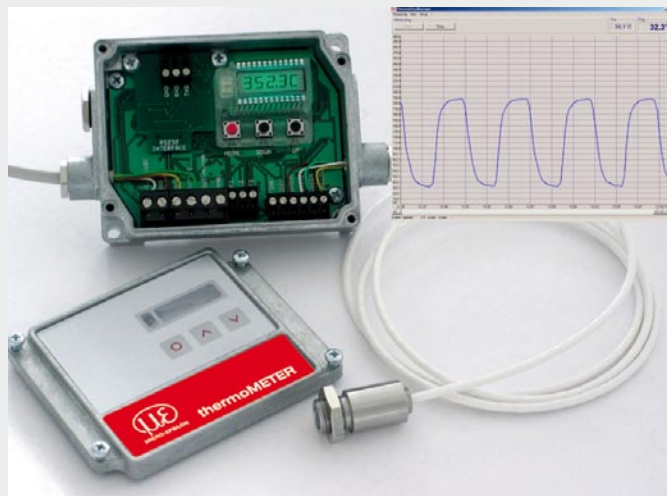
Structure optomécanique des thermomètres infrarouges modernes. Cette structure est utilisée pour les modèles CT laser et LS

Électronique : affichages, sorties et interfaces

L'électronique du thermomètre infrarouge linéarise le signal de sortie du détecteur afin de générer un signal de courant linéaire 0/4 - 20 mA ou un signal de tension 0 - 5/10 V. Pour les appareils portables infrarouges, ce signal est directement affiché sur l'écran LCD sous forme de valeur thermique. Certains appareils manuels offrent par ailleurs, au même titre que les capteurs à poste fixe, différentes sorties et interfaces pour le traitement ultérieur.



Exemples de sorties et d'interfaces des thermomètres infrarouges



Les sorties de données des thermomètres infrarouges peuvent être directement reliées à un PC ou un enregistreur de valeurs de mesure. Un logiciel PC permet de créer des graphiques et tableaux spécifiques aux besoins des clients.

Les systèmes de bus de terrain jouent un rôle de plus en plus important. Ils offrent une plus grande flexibilité à l'utilisateur et réduisent les efforts de câblage. Lors d'un changement de produit sur la chaîne de production, les paramètres des capteurs modifiés (p. ex. degré d'émission, plage de mesure ou valeurs limites) peuvent être réglés à distance. Ceci garantit une surveillance et une commande des processus en continu avec mobilisation minimale du personnel, même dans les endroits difficilement accessibles. En cas de panne, p. ex. ruptures de câbles, panne de composants, un message d'erreur s'affiche automatiquement. Un autre avantage des thermomètres infrarouges avec interface numérique réside dans la possibilité de calibrer le champ à l'aide d'un logiciel de calibration fourni par le fabricant de l'appareil.

Utilisation des thermomètres infrarouges

La mesure thermique sans contact réalisée à l'aide des thermomètres infrarouges est une méthode très performante d'observation, d'analyse et de commande des températures de process et de réparation préventive des machines et installations. En fonction de l'application, l'utilisateur a le choix entre des thermomètres infrarouges portables ou capteurs infrarouges à poste fixe qui se subdivisent quant à eux en deux catégories : appareils de mesure par point et appareils de mesure par image.

Thermomètres infrarouges portables

Les thermomètres infrarouges portables sont généralement utilisés pour la réparation et l'inspection préventive des installations électriques, des machines tournantes, en tant qu'outils de diagnostic dans les domaines du chauffage, de la climatisation et de la ventilation ainsi que pour l'analyse d'erreurs dans le domaine automobile – comme décrit par la suite.

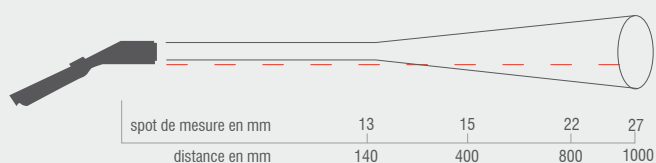
Simple et précis – l'inspection rapide via thermomètres infrarouges portables

Que ce soit pour être utilisés en intérieur ou en extérieur, au soleil ou sous la pluie ou à des températures fluctuantes, les appareils sont conçus pour être utilisés dans des conditions industrielles rudes. Le MS p. ex. est robuste et son design portable rappelant celui d'une télécommande fait de lui un outil extrêmement léger. Qu'on le porte dans la poche de sa veste, qu'il soit fixé à la ceinture ou rangé dans la caisse à outils, il est à tout moment à portée de main pour une inspection rapide.



Thermomètres infrarouges portables

Les températures allant de -32 à 530°C sont détectées à une vitesse de 0,3 secondes seulement avec une précision de $\pm 1\%$ ou de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. L'objet à mesurer est visé à l'aide du laser intégré, une pression sur une touche permet d'afficher la valeur de température avec une résolution thermique de $0,1^{\circ}\text{C}$ sur l'écran. Un signal d'alarme retentit chaque fois qu'une valeur limite définie est sous-dépassée ou excédée (fonction MAX/MIN), si bien qu'un palpage systématique de l'objet à mesurer est possible et la source d'erreur est rapidement localisée. La nouvelle optique de verre de précision permet la mesure de très petits objets. S'il est possible de s'approcher de l'objet à mesurer jusqu'à 14 cm, le spot de mesure ne mesure alors que 13 mm. Au-delà de cette distance, le spot de mesure s'agrandit. A une distance d'un mètre (E), la température est détectée sur une surface de mesure (M) de 50 mm de diamètre, c.-à-d. que la résolution optique E:M est de 20:1.



Rapport de distance par rapport à la taille du spot de mesure 20:1

Applications typiques lors des travaux de maintenance et de réparation

Lors de l'inspection rapide à l'aide du LS, la durée de la mesure se chiffre à 150 ms seulement. Les températures pouvant être mesurées sont comprises entre -32 et 900°C . Grâce à l'appareil de visée à réticule intégré, l'objet à mesurer est visé avec exactitude et la taille exacte du spot de mesure est projetée, une pression sur une touche permet d'afficher la valeur de température avec une résolution thermique de $0,1^{\circ}\text{C}$ sur l'écran. Un signal d'alarme retentit chaque fois qu'une valeur limite définie est sous-dépassée ou excédée (fonction MAX/MIN), si bien qu'un palpage systématique de l'objet à mesurer est possible et la source d'erreur est rapidement localisée. La nouvelle optique de précision à deux lentilles du LS permet la mesure de très petits objets. Une commutation en mode point focal, permet de mesurer des objets d'une taille d'1 mm avec exactitude. La visée est rendue possible grâce au laser se croisant dans le point focal à une distance de 62 mm. Les appareils disponibles jusqu'à ce jour sur le marché étaient soit uniquement conçus pour les distances

de mesure importantes, ou exclusivement pour les objets à mesurer de petite taille, ce qui rendait l'acquisition de plusieurs modèles ou optiques de changement indispensables. Avec le LS, c'est un appareil « Tout en un » qui a été mis au point : un simple actionnement d'un commutateur permet la focalisation sur la zone proche.



Mesure thermique infrarouge détaillée sur une commande électrique à l'aide de l'optique de point focal intégrée du LS de l'ordre du millimètre

L'écran Flip « intelligent » du LS constitue une solution particulièrement raffinée. Un capteur de position intégré tourne l'affichage LCD automatiquement dans la position d'observation la plus confortable pour la mesure verticale ou horizontale. Avec les thermomètres infrarouges disponibles jusqu'à ce jour, les positions de mesure verticales ou orientées vers le bas compliquaient la lecture de l'affichage et faisait appel à un certain talent sportif. La figure montre une telle position de mesure verticale typique lors de la mesure thermique des composants électroniques. Veuillez noter l'écran facilement lisible tourné automatiquement dans la meilleure position. De tels thermomètres infrarouges manuels avec géométries utiles du champ de mesure d'une taille de 1 mm représentent une alternative à l'acquisition d'une caméra thermique IR. En effet, il peut s'avérer dans certains cas qu'en raison du nombre important de pièces à produire et du nombre de postes de contrôle et de tests, le recours à plusieurs caméras thermiques à plusieurs endroits soit trop cher ou que les coûts des transformations soient trop élevés.



Mesure thermique infrarouge haute précision avec le LS sur un composant SMD de 1 mm seulement lors du fonctionnement test des circuits imprimés

Les défauts présents au niveau des installations de commutation, des fusibles, des moteurs ou des connexions électriques sont à peine visibles à l'œil nu. Nous savons cependant que la quasi-totalité des équipements consommant du courant ou transmettant une puissance mécanique, se réchauffe avant l'apparition d'une panne. La surveillance de température sans contact constitue par conséquent un instrument important lors des travaux de réparation préventifs afin de garantir la fiabilité des installations. En raison du petit diamètre du spot de mesure de 1 mm et de la technique de visée laser cruciforme, les thermomètres manuels LS sont l'outil idéal pour les opérations de mesure thermique rapides quotidiennes réalisées sur une multitude d'objets en entreprise.

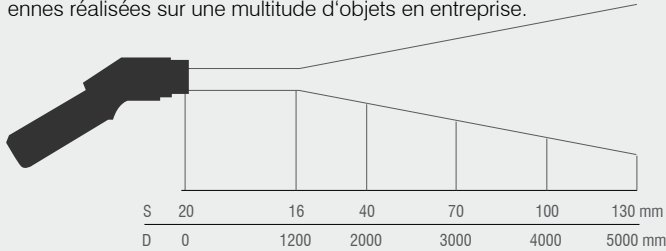


Diagramme optique d'une optique à point focal

- Mesures thermiques sur machines et installations difficilement accessibles ou tournantes ou sur les raccordements électriques des moteurs électriques
- Repérage de bornes et de connexions à bornes lâches
- Localisation de défauts cachés dans les canaux de câbles
- Contrôle des fusibles et des coupe-circuits
- Contrôle d'installations basse et moyenne tension
- Dépistage de surcharges unilatérales et d'asymétries dans la répartition de l'énergie
- Mesure de transformateurs ou de composants de petite taille

Mesure thermique des contacts

Lors de la transmission de puissances électriques importantes, il n'est pas rare d'observer des répartitions de charge ainsi que des surcharges asymétriques au niveau des contacts de jeux de barres. Ceci peut compromettre la sécurité. Les contacts lâches dus à des mouvements de matériau mécaniques en raison des réchauffements et des refroidissements cycliques, opposent une forte résistance au courant. La puissance consommée ne cesse d'augmenter et la chaleur ne cesse d'être générée. Les saletés et la corrosion peuvent également être à l'origine de résistances transitoires. A partir des différences de température face à des contacts équitablement chargés et la température environnante, il est possible de tirer des conclusions sur l'état de fonctionnement. Une différence de 10 K indique une mauvaise connexion, une de 30 K indique une situation critique.

Contrôle des transformateurs

Pour les transformateurs, une température de service maximale admise est indiquée. Si des réchauffements non admissibles surviennent lors de la mesure des bobines du transformateur à air, on est alors en présence d'une panne. La cause de l'erreur peut provenir de la bobine elle-même ou bien encore de la différence de charge des phases.

Localisation de câbles défectueux

Les défauts « invisibles » présents sur les câbles peuvent être localisés rapidement en procédant à un scan rapide à l'aide d'un thermomètre infrarouge. Les températures excessives indiquent que davantage de courant circule. Au niveau de ces points thermiques, les câbles peuvent être soumis à des contrôles de rupture, de corrosion ou de vieillissement.

Applications typiques dans les domaines du chauffage, de la climatisation et de la ventilation

Les pièces exposées aux courants d'air ou une mauvaise climatisation sont souvent dues à des installations de chauffage, de climatisation et d'aération défectueuses ou fonctionnant de façon irrégulière. Le technicien en climatisation est appelé pour localiser les sources d'erreur le plus rapidement possible et éviter des arrêts non planifiés. Selon la méthode de contrôle, cette tâche pouvait se révéler très longue et laborieuse. Le dépistage de fuites dans les canaux ou de filtres bouchés ou encore de serpentins réfrigérants gelés, les canaux d'air devaient souvent être percés. Les thermomètres introduits nécessitaient un temps de stabilisation avant de pouvoir mesurer la température correcte de l'air à l'intérieur du canal. L'utilisation de thermomètres infrarouges simplifie le travail et permet de réaliser de précieuses économies de temps. A une distance sûre, il est possible de mesurer avec confort et une rapidité de l'ordre de la seconde la température superficielle des composants avec précision. L'échelle peut quant à elle rester en toute tranquillité dans le garage. Simple manipulation, résultats de mesure fiables et un design robuste avant tout – voici les exigences posées par les techniciens chauffagistes et climatiseurs quant aux nouveaux appareils de mesure.

Le LS sert à :

- Dépister les isolations défectueuses
- Repérer les fuites au niveau des chauffages au sol
- Contrôler les brûleurs des chauffages à huile ou des chaudières à gaz
- Réaliser des mesures sur les échangeurs thermiques, les circuits de chauffage et les répartiteurs de circuits de chauffage
- Localiser les fuites dans les canaux
- Contrôler les fuites d'air et les soupapes de sûreté
- Régler les thermostats ou l'air ambiant

Applications typiques dans le domaine du diagnostic automobile

Qu'il s'agisse d'une inspection ordinaire ou d'une inspection effectuée sur les circuits de course, les sources d'erreurs doivent être rapidement localisées et éliminées en un temps record. Afin de dire adieu aux changements de pièces excessivement chers, voici une liste de possibilités offertes par la mesure thermique sans contact.

Diagnostic

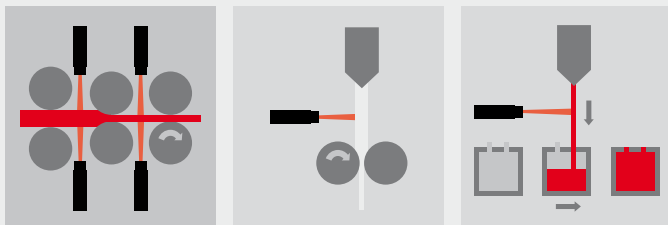
- des pannes de moteurs
- des surcharges au niveau du catalyseur
- au niveau du système d'injection
- au niveau de l'installation de climatisation
- au niveau du système de refroidissement
- au niveau du système de freinage

Thermomètres infrarouges à poste fixe

Contrairement aux appareils infrarouges manuels, les capteurs de température à poste fixe sont souvent utilisés pour le contrôle qualité sur les chaînes de fabrication. Outre la mesure thermique sans contact et l'affichage des données de mesure, ces capteurs permettent également la commande de températures de process. La large palette de possibilités permettant d'adapter les capteurs de température infrarouges au problème de mesure permet non seulement le rééquipement simple d'installations de production déjà existantes mais également l'équipement sur le long terme d'installations nouvelles en étroite collaboration avec les clients OEM dans le domaine de la construction mécanique.

De nombreuses applications sont possibles :

- Industrie du plastique
- Production de verre
- Industrie de traitement du papier
- Imprimerie
- Processus de découpe et de soudage au laser
- Mesures des composants électroniques

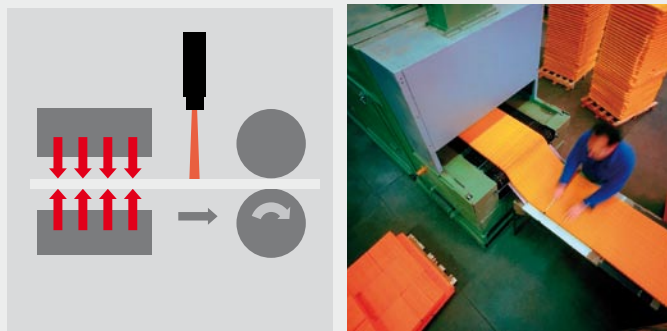


Applications typiques pour la photovoltaïque et l'industrie des semi-conducteurs

Lors de la production de cellules ou de modules, le revêtement optimal et homogène des surfaces par un degré de précision très élevé et une résolution thermique élevée de la mesure thermique sans contact doit être garanti. Mais également utilisé pour la surveillance de l'homogénéité lors de la production de verre de haute qualité pour applications modernes. Lors de la production de verre pour panneaux solaires, mais également de verre pour écrans couleurs plat, un haut degré d'homogénéité des revêtements spéciaux est exigé sur toute la surface. Autres exemples d'applications : optimisation de l'apport de chaleur lors du soudage par induction, du soudage par air chaud et du soudage par laser moderne. Outre la technologie de cellules solaires à base de silicium établie sur le marché, la technologie basée sur les semi-conducteurs III/V-, II/VI ou I/III/VI gagne en importance. Grâce à une production moderne et considérablement plus simple et moins chère comparée aux étapes coûteuses de la fabrication à base de silicium, le prix du watt par puissance installée est fortement diminué. Les semi-conducteurs I/III/VI avec technologie de machine d'impression sont imprimés sur des films métalliques par exemple. Lors d'étapes de processus de ces matériaux de semi-conducteurs mixtes au sein de cette technologie de fabrication, de nombreux modèles de la série thermoMETER sont utilisés.

Thermomètres infrarouges à poste fixe : applications standard

Contrôle de la température des bandes de papier et de l'encollage lors de la fabrication des emballages en carton composites. La vitesse de défilement élevée des bandes de papier dans les machines modernes à laminer le papier exige un contrôle rapide et précis de la température du papier, de la colle et du produit de base à doubler. Seul un respect strict des rapports de température fixés par la technologie entre les composants du produit permet un laminage exact et dans le respect des délais.



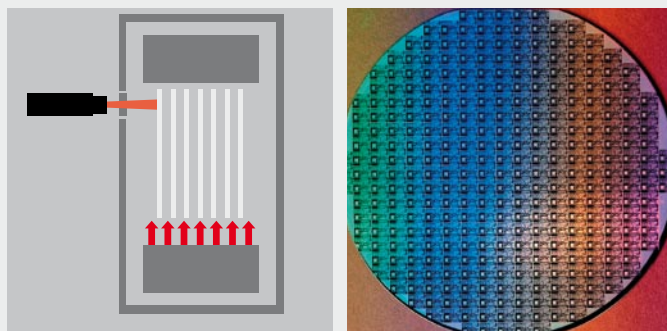
Mesure thermique infrarouge lors de la production de papier et de carton

Surveillance de la température et commande de la température des rouleaux à l'aide de capteurs de température infrarouges miniatures

La surveillance et la commande de la température des rouleaux à l'aide de capteurs de température infrarouges miniatures en des points de mesure définis le long de la bande au niveau du rouleau de ripage et du rouleau d'encollage permettent un laminage hautement uniforme. Des dispositifs de soufflage et de nettoyage au niveau du canal optique des capteurs infrarouges permettent un fonctionnement exempt de maintenance. Une évaluation intelligente des signaux des capteurs infrarouges en bordure de la bande permet en outre de procéder à un réajustement géométrique du dispositif d'encollage.

Contrôle de température des composants électroniques lors de tests de fonctionnement

En raison de la performance croissante de leurs composants, de plus en plus de fabricants de composants électroniques et de circuits imprimés misent sur la mesure thermique sans contact pour mesurer et maîtriser le comportement thermique de leurs produits.

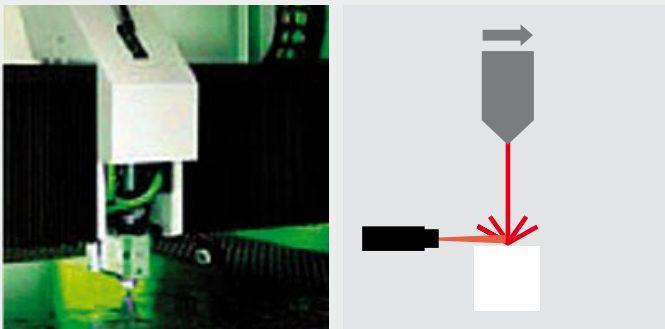


Mesure thermique infrarouge des tranches de silicium et des composants électroniques

Les caméras thermiques infrarouges permettent une analyse détaillée en temps réel du comportement thermique des circuits imprimés équipés, aussi bien dans le domaine de la R&D que dans la production en série. En raison du nombre élevé de pièces à produire et du nombre des postes de contrôle et de test, l'utilisation de caméras thermiques infrarouges sur plusieurs postes peut éventuellement s'avérer trop coûteuse ou entraîner des coûts de mise en oeuvre élevés. La surveillance thermique à l'aide de capteurs de température infrarouges CT s'offre quant à elle à la surveillance en série des composants critiques dans les installations de production. Les composants critiques dont la position peut être reproduite en permanence à partir du lieu de la mesure (position sur le circuit imprimé) lors d'une production en série, peuvent être détectés à l'aide de capteurs de température infrarouges et la mesure thermique de la routine de position de contrôle pour la prise de décision peut être réalisée. Pour ce faire, il est possible de faire appel à un adaptateur optique de la série CT permettant de détecter des spots de mesure de taille minimale allant jusqu'à 0,6 mm.

Surveillance de la température des produits soumis aux processus de découpe et de soudage au laser

Les procédés de découpe et de soudage au laser sont une technologie hautement moderne, efficace en termes de coûts et permettant de gagner du temps. Dans ces procédés, la précision du faisceau laser ainsi que son haut degré de densité d'énergie sont exploités de façon avantageuse. Dans le même temps, le haut degré de précision de découpe / de soudage requis ainsi que les temps d'arrêt réduits en présence de température élevée imposent des exigences très élevées en termes de qualité de manipulation du produit et des routines de compensation associées. Une des causes des changements entraînant une baisse de la précision est la dilatation longitudinale du matériau due à la température.



Mesure thermique infrarouge lors du soudage laser

Les capteurs de température infrarouges miniatures CT permettent de mesurer très rapidement la température du produit directement au niveau de la zone de découpe ou de soudage et de générer des signaux de correction correspondants. Les plus petits spots de mesure d'une taille allant jusqu'à 0,6 mm peuvent être détectés en faisant appel à un adaptateur optique de la série CT. Les ingénieurs de production disposent ainsi d'un système contrôlant et mesurant en continu le comportement thermique de leurs produits avec les résultats suivants :

- Ajustement et rodage rapides des installations lors du changement de charges, réduction des temps de fonctionnement à vide et des matériaux échantillons
- Possibilité de dresser un protocole de la production par charges
- Garantie d'une qualité élevée et constante de la production

Caméras thermiques infrarouges

Le recours à des caméras thermiques portables gagne en importance lors de la réalisation de travaux d'entretien et de maintenance à caractère préventif. Les anomalies et dysfonctionnements faisant souvent leur apparition au niveau des composants sensibles et indispensables à la production en raison d'un développement de chaleur accru, un recours conséquent et ciblé à cette technologie permet d'éviter des coûts élevés dus à des pannes de machines et des arrêts de la production.



Caméra thermique thermoIMAGER

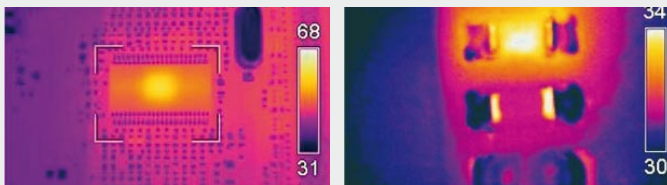
Du fait de leur forme de construction réduite, de leur faible poids et de leurs bonnes caractéristiques ergonomiques, les toutes nouvelles caméras thermiques sont simples d'utilisation. L'évaluation et l'interprétation des résultats de mesure peuvent directement avoir lieu sur place via un ordinateur portable ; ce qui permet de décider des mesures de maintenance appropriées et d'initier des travaux de réparation, si nécessaire. Les systèmes sont protégés contre les influences environnementales rudes, comme la poussière et les éclaboussures d'eau, conformément au type de protection IP67 ; ce qui les prédestine au mieux à une utilisation en environnement industriel. La plage de mesure thermique des caméras infrarouges s'étend de -20 à 900°C. Leur précision de mesure s'élève à $\pm 2\%$ de la valeur de mesure ou à $\pm 2^\circ\text{C}$. Le logiciel caractérisé par une navigation par menu structurée de façon logique permet de modifier en toute simplicité les réglages de base (choix de palette de couleurs, sélection du point de mesure, valeurs d'alarme, degré d'émission p. ex.) et de gérer les images infrarouges ou vidéos radiométriques.

Le détecteur infrarouge

Les microbolomètres hautement dynamiques sont fiables en termes de surexposition au rayonnement, de lumière du soleil incidente et d'objets chauds insérés par hasard dans l'image. Ainsi, il est par exemple possible de prendre des photos en extérieur, même à contre-jour, sans le moindre problème et sans risques pour l'appareil. La fréquence de répétition des images de 120 Hz combinée à la haute résolution thermique de $< 0,08\text{ K}$ permet de détecter des différences de température minimales en temps réel, même lorsque les objets à mesurer sont en mouvement ou différents points de mesure sont rapidement visés les uns après les autres. Le haut degré de sensibilité thermique garantit également une représentation fortement contrastée de l'environnement du composant à mesurer. Ceci permet une bonne orientation sur l'image infrarouge au cours de la mesure.

Caméra intelligente

La température mesurée s'affiche dans l'écran avec une résolution de 0,1°C. La taille du spot est détectée via une visée laser en croix dans l'écran. Dans la pratique, dès lors que l'utilisateur a fait une idée par exemple d'un distribution électrique, il peut viser simplement chaque des composants comme pinces ou contacts et effectuer et documenter des mesures des températures. Comme l'alignement de visée laser en croix aux objets de petite taille faut du doigté et l'application d'un statif sera nécessaire, la méthode ne se prête pas à la mesure des objets de petite taille par exemple des circuits ou des composants SMD dans circuits imprimés. Pour ces applications, les caméras infrarouges peuvent passer à une option que trouve les valeurs maximum. Tous les pixels sont analysés dans un fragment d'image rectangulaire. Ainsi, la valeur thermique au maximum s'affiche. Grâce à ce fonction très avantageux il est possible de détecter la température des objets de petite taille. Naturellement, la valeur minimum ou intermédiaire peut être s'affichée remplaçant la valeur maximum.



Mesure thermique au niveau d'un circuit de commutation à l'aide de la fonction de valeur maximale

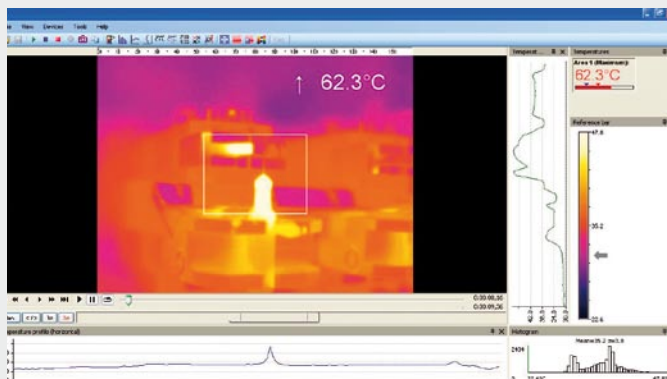
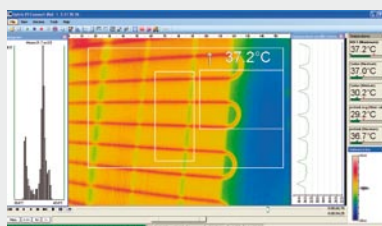
A des fins d'évaluation détaillée et de documentation des mesures, l'appareil de mesure enregistre les images infrarouges au format JPEG avec des données radiométriques pour chaque pixel, ou sous forme de vidéo au format AVI ou au format radiométrique RAVI. Le transfert des données vers un PC ou un ordinateur portable s'effectue via l'interface USB intégrée. Grâce au logiciel compris dans la livraison, l'évaluation peut être entreprise.

Objectifs interchangeables pour applications diverses

Il existe différents objectifs interchangeables pour les différentes plages de distance entre l'appareil et l'objet et permettant une adaptation optimale aux diverses applications. Parmi ces applications, on compte entre autres les mesures destinées à surveiller les systèmes mécaniques, comme celles réalisées sur les paliers, les arbres et les unités d'entraînement, l'inspection des tuyauteries et des isolations ou encore la thermographie classique des bâtiments. Si vous souhaitez mesurer des objets à partir de distances plus importantes avec le plus haut degré possible de résolution détaillée des différents composants (p. ex. contrôle des commutateurs et des isolants des installations de commutation haute tension), il est conseillé de recourir au téléobjectif 6°. Deux objectifs grand angle 23° et 48° viennent compléter l'offre et permettent par exemple de procéder au contrôle des armoires de commande électrique de taille moyenne en « un clin d'œil », même dans les espaces les plus restreints, comme c'est souvent le cas dans les installations de production. Ainsi, la caméra est en mesure de détecter, à une distance de seulement 2 m entre l'objet à mesurer et l'objectif par exemple, une surface supplémentaire d'env. 1,50 m x 1,40 m. La mesure de très petits composants SMD présents sur les circuits imprimés déjà présentée constitue une application supplémentaire importante. Pour ce faire, il est possible de régler l'objectif 23° sur de très courtes distances inférieures à 20 mm (mise au point focale). La résolution ainsi obtenue permet de déterminer avec sûreté la température d'objets dont le diamètre peut aller jusqu'à 0,03 mm.

Logiciel pour caméras thermiques et solutions thermographiques

Les solutions thermographiques sont complétées par un logiciel de représentation en ligne des vidéos et d'enregistrement des processus thermodynamiques rapides avec de nombreux outils d'analyse d'image. La possibilité de transfert et de gestion des fichiers en tout confort à partir de la caméra infrarouge ainsi que la possibilité d'analyse ultérieure offerte par les données radiométriques disponibles dans les images infrarouges supportent le traitement des données thermiques. Les informations relatives à la température peuvent être affichées dans chaque point d'image individuel. L'affectation ultérieure d'autres palettes de couleurs ainsi que le réglage de l'échelle de couleurs permettent d'adapter les données aux exigences respectives de l'analyse.



Tableaux des degrés d'émission

Bibliographie

Degré d'émission

Spectre
T: Spectre total
2 - 5 µm,
LW: 8 - 14 µm
LLW: 6,5 - 20 µm

Température de l'objet en °C

Spécification du matériau

Matériau

Matériau	Spécification	°C	Spec.	Deg. d'ém.	Lit.
Acier inoxydable	Tôle, polie	70	LW	0,14	9
Acier inoxydable	Tôle, polie		SW	0,18	9
Acier inoxydable	Tôle, non traitée, légèrement rayée	70	LW	0,28	9
Acier inoxydable	Tôle, non traitée, légèrement rayée	70	SW	0,3	9
Acier inoxydable	Laminé	700	T	0,45	1
Acier inoxydable	Alliage 8% Ni, 18% Cr	500	T	0,35	1
Acier inoxydable	Sablé	700	T	0,7	1
Acier inoxydable	Type 18-8, brillant	20	T	0,16	2
Acier inoxydable	Type 18-8, oxydé à 800°C	60	T	0,85	2
Aluminium	Tôle, 4 échantillons rayés différemment	70	LW	0,03 - 0,06	9
Aluminium	Tôle, 4 échantillons rayés différemment	70	SW	0,05 - 0,08	9
Aluminium	éloxé, gris clair, mat	70	LW	0,97	9
Aluminium	éloxé, gris clair, mat	70	SW	0,61	9
Aluminium	éloxé, gris clair, mat	70	LW	0,95	9
Aluminium	éloxé, gris clair, mat	70	SW	0,67	9
Aluminium	Tôle éloxée	100	T	0,55	2
Aluminium	Film	27	3 µm	0,09	3
Aluminium	Film	27	10 µm	0,04	3
Aluminium	rugueux	27	3 µm	0,28	3
Aluminium	rugueux	27	10 µm	0,18	3
Aluminium	Fonte, sablé	70	LW	0,46	9
Aluminium	Fonte, sablé	70	SW	0,47	9
Aluminium	immérgé dans du HNO3, plaque	100	T	0,05	4
Aluminium	poli	50 - 100	T	0,04 - 0,06	1
Aluminium	poli, tôle	100	T	0,05	2
Aluminium	plaque polie	100	T	0,05	4
Aluminium	Surface rugueuse	20 - 50	T	0,06 - 0,07	1
Aluminium	fortement oxydé	50 - 500	T	0,2 - 0,3	1
Aluminium	fortement décomposé	17	SW	0,83 - 0,94	5
Aluminium	inchangé, tôle	100	T	0,09	2
Aluminium	inchangé, plaque	100	T	0,09	4
Aluminium	revêtu sous vide	20	T	0,04	2
Argent	poli	100	T	0,03	2
Argent	pur, poli	200 - 600	T	0,02 - 0,03	1
Argile	brûlé	70	T	0,91	1
Asbeste	Carrelages	35	SW	0,94	7
Asbeste	Planche	20	T	0,96	1
Asbeste	Tissu		T	0,78	1
Asbeste	Papier	40 - 400	T	0,93 - 0,95	1
Asbeste	Poudre		T	0,40 - 0,60	1
Asbeste	Tuile	20	T	0,96	1
Béton		20	T	0,92	2
Béton	Passage piétons	5	LLW	0,974	8
Béton	rugueux	17	SW	0,97	5
Béton	sec	36	SW	0,95	7
Bois		17	SW	0,98	5
Bois		19	LLW	0,962	8
Bois	Raboté	20	T	0,8 - 0,9	1
Bois	Chêne raboté	20	T	0,9	2
Bois	Chêne raboté	70	LW	0,88	9
Bois	Chêne raboté	70	SW	0,77	9
Bois	Poli à l'émeri		T	0,5 - 0,7	1
Bois	Pin, 4 modèles différents	70	LW	0,81 - 0,89	9
Bois	Pin, 4 modèles différents	70	SW	0,67 - 0,75	9

Matériau	Spécification	°C	Spec.	Deg. d'ém.	Lit.
Bois	Bois contreplaqué, lisse, sec	36	SW	0,82	7
Bois	Bois contreplaqué, non traité	20	SW	0,83	6
Bois	Blanc, humide	20	T	0,7 - 0,8	1
Bronze	Phosphore-bronze	70	LW	0,06	9
Bronze	Phosphore-bronze	70	SW	0,08	1
Bronze	poli	50	T	0,1	1
Bronze	poreux, rugueux	50 - 100	T	0,55	1
Bronze	Poudre		T	0,76 - 0,80	1
Caoutchouc	dur	20	T	0,95	1
Caoutchouc	flexible, gris, rugueux	20	T	0,95	1
Carbone	Grafité, surface limée	20	T	0,98	2
Carbone	Poudre de grafité		T	0,97	1
Carbone	Poudre de charbon de bois		T	0,96	1
Carbone	Noir de bougie	20	T	0,95	2
Carbone	Noir de lampe	20 - 400	T	0,95 - 0,97	1
Chaux			T	0,3 - 0,4	1
Chrome	poli	50	T	0,1	1
Chrome	poli	500 - 1000	T	0,28 - 0,38	1
Cuir	bruni, tanné		T	0,75 - 0,80	1
Cuivre	électrolytique, fini spéculaire	80	T	0,018	1
Cuivre	électrolytique, poli	-34	T	0,006	4
Cuivre	gratté	27	T	0,07	4
Cuivre	fondu	1100 - 1300	T	0,13 - 0,15	1
Cuivre	commercial, brillant	20	T	0,07	1
Cuivre	oxydé	50	T	0,6 - 0,7	1
Cuivre	oxydé, sombre	27	T	0,78	4
Cuivre	oxydé, épais	20	T	0,78	2
Cuivre	oxydé, noir		T	0,88	1
Cuivre	poli	50 - 100	T	0,02	1
Cuivre	poli	100	T	0,03	2
Cuivre	poli, commercial	27	T	0,03	4
Cuivre	poli, mécanique	22	T	0,015	4
Cuivre	pur, surface soigneusement préparée	22	T	0,008	4
Dioxyde de cuivre	Poudre		T	0,84	1
Eau	distillée	20	T	0,96	2
Eau	Glacé, recouverte d'une couche de gel épaisse	0	T	0,98	1
Eau	Glacé, lisse	-10	T	0,96	2
Eau	Glacé, lisse	0	T	0,97	1
Eau	Cristaux de glace	-10	T	0,98	2
Eau	Couche d'une épaisseur >0,1 mm	0 - 100	T	0,95 - 0,98	1
Eau	Neige		T	0,8	1
Eau	Neige	-10	T	0,85	2
Ebonite			T	0,89	1
Email		20	T	0,9	1
Email	Vernis	20	T	0,85 - 0,95	1
Enduit de plâtre		17	SW	0,86	5
Enduit de plâtre	Panneau de plâtre, non traité	20	SW	0,9	6
Enduit de plâtre	Surface rugueuse	20	T	0,91	2
Fer galvanisé	Tôle	92	T	0,07	4
Fer galvanisé	Tôle, oxydée	20	T	0,28	1
Fer galvanisé	Tôle, polie	30	T	0,23	1
Fer galvanisé	fortement oxydé	70	LW	0,85	9
Fer galvanisé	fortement oxydé	70	SW	0,64	9
Fer et acier	électrolytiques	22	T	0,05	4
Fer et acier	électrolytiques	100	T	0,05	4
Fer et acier	électrolytiques	260	T	0,07	4
Fer et acier	électrolytiques, fini spéculaire	175 - 225	T	0,05 - 0,06	1
Fer et acier	fraichement laminé	20	T	0,24	1
Fer et acier	fraichement traité au papier émeri	20	T	0,24	1
Fer et acier	Tôle poncée	950 - 1100	T	0,55 - 0,61	1
Fer et acier	forgés, fini spéculaire	40 - 250	T	0,28	1
Fer et acier	Tôle laminée	50	T	0,56	1

Tableaux des degrés d'émission

Matériau	Spécification	°C	Spec.	Deg. d'ém.	Lit.
Fer et acier	brillants, mordancés	150	T	0,16	1
Fer et acier	couche d'oxyde brillante, tôle	20	T	0,82	1
Fer et acier	laminés à chaud	20	T	0,77	1
Fer et acier	laminés à chaud	130	T	0,6	1
Fer et acier	laminés à froid	70	LW	0,09	9
Fer et acier	laminés à froid	70	SW	0,2	9
Fer et acier	Recouverts de rouille rouge	20	T	0,61 - 0,85	1
Fer et acier	oxydés	100	T	0,74	1
Fer et acier	oxydés	100	T	0,74	4
Fer et acier	oxydés	125 - 525	T	0,78 - 0,82	1
Fer et acier	oxydés	200	T	0,79	2
Fer et acier	oxydés	200 - 600	T	0,8	1
Fer et acier	oxydés	1227	T	0,89	4
Fer et acier	poli	100	T	0,07	2
Fer et acier	poli	400 - 1000	T	0,14 - 0,38	1
Fer et acier	Tôle polie	750 - 1050	T	0,52 - 0,56	1
Fer et acier	rugueux, surface plane	50	T	0,95 - 0,98	1
Fer et acier	rouillés, rouges	20	T	0,69	1
Fer et acier	rouille rouge, tôle	22	T	0,69	4
Fer et acier	fortement oxydés	50	T	0,88	1
Fer et acier	fortement oxydés	500	T	0,98	1
Fer et acier	fortement oxydés	17	SW	0,96	5
Fer et acier	tôle fortement oxydée	20	T	0,69	2
Fer galvanisé	Tôle	24	T	0,064	4
Fonte de fer	traînée	800 - 1000	T	0,60 - 0,70	1
Fonte de fer	Liquide	1300	T	0,28	1
Fonte de fer	Fonte	50	T	0,81	1
Fonte de fer	Blocs de fonte de fer	1000	T	0,95	1
Fonte de fer	oxydée	38	T	0,63	4
Fonte de fer	oxydée	100	T	0,64	2
Fonte de fer	oxydée	260	T	0,66	4
Fonte de fer	oxydée	538	T	0,76	4
Fonte de fer	oxydé à 600°C	200 - 600	T	0,64 - 0,78	1
Fonte de fer	poli	38	T	0,21	4
Fonte de fer	poli	40	T	0,21	2
Fonte de fer	poli	200	T	0,21	1
Fonte de fer	non traitée	900 - 1100	T	0,87 - 0,95	1
Glace	cf. eau				
Goudron			T	0,79 - 0,84	1
Goudron	Papier	20	T	0,91 - 0,93	1
Granite	poli	20	LLW	0,849	8
Granite	rugueux	21	LLW	0,879	8
Granite	rugueux, 4 modèles différents	70	LW	0,77 - 0,87	9
Granite	rugueux, 4 modèles différents	70	SW	0,95 - 0,97	9
Grès	poli	19	LLW	0,909	8
Grès	rugueux	19	LLW	0,935	8
Huile, huile lubrifiante	Film d'une épaisseur de 0,025 mm	20	T	0,27	2
Huile, huile lubrifiante	Film d'une épaisseur de 0,05 mm	20	T	0,46	2
Huile, huile lubrifiante	Film d'une épaisseur de 0,125 mm	20	T	0,72	2
Huile, huile lubrifiante	Couche épaisse	20	T	0,82	2
Huile, huile lubrifiante	Film à base de Ni : uniquement à base de Ni	20	T	0,05	2
Hydroxyde d'aluminium	Poudre		T	0,28	1
Laitier	Chaudière	0 - 100	T	0,97 - 0,93	1
Laitier	Chaudière	200 - 500	T	0,89 - 0,78	1
Laitier	Chaudière	600 - 1200	T	0,76 - 0,70	1
Laitier	Chaudière	1400 - 1800	T	0,69 - 0,67	1
Laiton	Frotté avec du papier émeri	20	T	0,2	2
Laiton	Tôle, laminée	20	T	0,06	1
Laiton	Tôle, traitée au papier émeri	20	T	0,2	1
Laiton	hautement poli	100	T	0,03	2
Laiton	oxydé	70	SW	0,04 - 0,09	9
Laiton	oxydé	70	LW	0,03 - 0,07	9

Matériau	Spécification	°C	Spec.	Deg. d'ém.	Lit.
Laiton	oxydé	100	T	0,61	2
Laiton	oxydé à 600°C	200 - 600	T	0,59 - 0,61	1
Laiton	poli	200	T	0,03	1
Laiton	mat, tacheté	20 - 350	T	0,22	1
Laiton d'aluminium		20	T	0,6	1
Magnésium		22	T	0,07	4
Magnésium		260	T	0,13	4
Magnésium		538	T	0,18	4
Magnésium	poli	20	T	0,07	2
Molybdène		600 - 1000	T	0,08 - 0,13	1
Molybdène		1500 - 2200	T	0,19 - 0,26	1
Molybdène	Fil	700 - 2500	T	0,1 - 0,3	1
Mortier		17	SW	0,87	5
Mortier	sec	36	SW	0,94	7
Neige	cf. eau				
Nickel	Fil	200 - 1000	T	0,1 - 0,2	1
Nickel	électrolytique	22	T	0,04	4
Nickel	électrolytique	38	T	0,06	4
Nickel	électrolytique	260	T	0,07	4
Nickel	électrolytique	538	T	0,1	4
Nickel	galvanisé, poli	20	T	0,05	2
Nickel	galvanisé sur fer, non poli	20	T	0,11 - 0,40	1
Nickel	galvanisé sur fer, non poli	22	T	0,11	4
Nickel	galvanisé sur fer, non poli	22	T	0,045	4
Nickel	clair mat	122	T	0,041	4
Nickel	oxydé	200	T	0,37	2
Nickel	oxydé	227	T	0,37	4
Nickel	oxydé	1227	T	0,85	4
Nickel	oxydé à 600°C	200 - 600	T	0,37 - 0,48	1
Nickel	poli	122	T	0,045	4
Nickel	pur, poli	100	T	0,045	1
Nickel	pur, poli	200 - 400	T	0,07 - 0,09	1
Nickel-chrome	Fil, nu	50	T	0,65	1
Nickel-chrome	Fil, nu	500 - 1000	T	0,71 - 0,79	1
Nickel-chrome	Fil, oxydé	50 - 500	T	0,95 - 0,98	1
Nickel-chrome	Laminé	700	T	0,25	1
Nickel-chrome	Sablé	700	T	0,7	1
Or	fini spéculaire	200 - 600	T	0,02 - 0,03	1
Or	hautement poli	100	T	0,02	2
Or	poli	130	T	0,018	1
Oxyde d'aluminium	activé, poudre		T	0,46	1
Oxyde d'aluminium	pur, poudre (oxyde d'aluminium)		T	0,16	1
Oxyde de cuivre	rouge, poudre		T	0,7	1
Oxyde de nickel		500 - 650	T	0,52 - 0,59	1
Oxyde de nickel		1000 - 1250	T	0,75 - 0,86	1
Panneau de copeaux	Non traité	20	SW	0,9	6
Panneau de fibres	dur, non traité	20	SW	0,85	6
Panneau de fibres	Otrélite	70	LW	0,88	9
Panneau de fibres	Otrélite	70	SW	0,75	9
Panneau de fibres	Panneau de particules	70	LW	0,89	9
Panneau de fibres	Panneau de particules	70	SW	0,77	9
Panneau de fibres	poreux, non traité	20	SW	0,85	6
Papier	4 couleurs différentes	70	LW	0,92 - 0,94	9
Papier	4 couleurs différentes	70	SW	0,68 - 0,74	9
Papier	recouvert de peinture noire		T	0,93	1
Papier	Bleu marine		T	0,84	1
Papier	Jeune		T	0,72	1
Papier	Verte		T	0,85	1
Papier	Rouge		T	0,76	1
Papier	Noir		T	0,9	1
Papier	Noir, mat		T	0,94	1
Papier	Noir, mat	70	LW	0,89	9

Tableaux des degrés d'émission

Matériau	Spécification	°C	Spec.	Deg. d'ém.	Lit.
Papier	Noir , mat	70	SW	0,86	9
Papier	Blanc	20	T	0,7 - 0,9	1
Papier	Blanc, 3 brillants différents	70	LW	0,88 - 0,90	9
Papier	Blanc, 3 brillants différents	70	SW	0,76 - 0,78	9
Papier	Blanc, relié	20	T	0,93	2
Papier émeri	grossier	80	T	0,85	1
Peau	Homme	32	T	0,98	2
Plastique	Stratifié de fil de verre (circuit imprimé)	70	LW	0,91	9
Plastique	Stratifié de fil de verre (circuit imprimé)	70	SW	0,94	9
Plastique	Plaque isolante en polyuréthane	70	LW	0,55	9
Plastique	Plaque isolante en polyuréthane	70	SW	0,29	9
Plastique	PVC, sol plastique, mat, structuré	70	LW	0,93	9
Plastique	PVC, sol plastique, mat, structuré	70	SW	0,94	9
Platine		17	T	0,016	4
Platine		22	T	0,05	4
Platine		260	T	0,06	4
Platine		538	T	0,1	4
Platine		1000 - 1500	T	0,14 - 0,18	1
Platine		1094	T	0,18	4
Platine	Bande	900 - 1100	T	0,12 - 0,17	1
Platine	Fil	50 - 200	T	0,06 - 0,07	1
Platine	Fil	500 - 1000	T	0,10 - 0,16	1
Platine	Fil	1400	T	0,18	1
Platine	pur, poli	200 - 600	T	0,05 - 0,10	1
Plâtre		20	T	0,8 - 0,9	1
Plomb	brillant	250	T	0,08	1
Plomb	non oxydé, poli	100	T	0,05	4
Plomb	oxydé, gris	20	T	0,28	1
Plomb	oxydé, gris	22	T	0,28	4
Plomb	oxydé à 200°C	200	T	0,63	1
Plomb rouge		100	T	0,93	4
Plomb rouge, poudre		100	T	0,93	1
Polystyrène	Isolation thermique	37	SW	0,6	7
Porcelaine	glacée	20	T	0,92	1
Porcelaine	Blanche, lumineuse		T	0,70 - 0,75	1
Poudre de magnésium			T	0,86	1
Sable			T	0,6	1
Sable		20	T	0,9	2
Tapis routier en asphalte		4	LLW	0,967	8
Tapisserie	avec de légers motifs, gris clair	20	SW	0,85	6
Tapisserie	avec de légers motifs, route	20	SW	0,9	6
Terre	saturée d'eau	20	T	0,95	2
Terre	sèche	20	T	0,92	2
Tissu	noir	20	T	0,98	1
Titane	oxydé à 540 °C	200	T	0,4	1
Titane	oxydé à 540 °C	500	T	0,5	1
Titane	oxydé à 540 °C	1000	T	0,6	1
Titane	poli	200	T	0,15	1
Titane	poli	500	T	0,2	1
Titane	poli	1000	T	0,36	1
Tôle	brillante	20 - 50	T	0,04 - 0,06	1
Tôle	Tôle blanche	100	T	0,07	2
Tuile	Oxyde d'aluminium	17	SW	0,68	5
Tuile	Oxyde de silicium de Dinas, produit résistant au feu	1000	T	0,66	1
Tuile	Oxyde de silicium de Dinas, glacé, rugueux	1100	T	0,85	1
Tuile	Oxyde de silicium de Dinas, non glacé, rugueux	1000	T	0,8	1
Tuile	Produit résistant au feu, corindon	1000	T	0,46	1
Tuile	Produit résistant au feu, magnésite	1000 - 1300	T	0,38	1
Tuile	Produit résistant au feu, à rayonnement faible	500 - 1000	T	0,65 - 0,75	1
Tuile	Produit résistant au feu, à rayonnement fort	500 - 1000	T	0,8 - 0,9	1
Tuile	Tuile feu	17	SW	0,68	5
Tuile	glacée	17	SW	0,94	5

Matériau	Spécification	°C	Spec.	Deg. d'ém.	Lit.
Tuile	Maçonnerie	35	SW	0,94	7
Tuile	Maçonnerie, crépie	20	T	0,94	1
Tuile	normale	17	SW	0,86 - 0,81	5
Tuile	rouge, normale	20	T	0,93	2
Tuile	rouge, rugueuse	20	T	0,88 - 0,93	1
Tuile	Chamotte	20	T	0,85	1
Tuile	Chamotte	1000	T	0,75	1
Tuile	Chamotte	1200	T	0,59	1
Tuile	Silicium, 95% SiO ₂	1230	T	0,66	1
Tuile	Sillimanite 33% SiO ₂ , 64% Al ₂ O ₃	1500	T	0,29	1
Vernis	sur parquet de chêne	70	LW	0,90 - 0,93	9
Vernis	sur parquet de chêne	70	SW	0,9	9
Vernis	mat	20	SW	0,93	6
Vernis	3 couleurs pulvérisées sur aluminium	70	LW	0,92 - 0,94	9
Vernis	3 couleurs pulvérisées sur aluminium	70	SW	0,50 - 0,53	9
Vernis	Aluminium sur surface rugueuse	20	T	0,4	1
Vernis	Bakélite	80	T	0,83	1
Vernis	Résistant à la chaleur	100	T	0,92	1
Vernis	Noir, brillant, pulvérisé sur fer	20	T	0,87	1
Vernis	Noir, mat	100	T	0,97	2
Vernis	Noir, mat	40 - 100	T	0,96 - 0,98	1
Vernis	Blanc	40 - 100	T	0,8 - 0,95	1
Vernis	Blanc	100	T	0,92	2
Vernis	8 couleurs & qualités différentes	70	LW	0,92 - 0,94	9
Vernis	8 couleurs & qualités différentes	70	SW	0,88 - 0,96	9
Vernis	Aluminium, d'âge différent	50 - 100	T	0,27 - 0,67	1
Vernis	A base d'huile, valeur moyenne de 16 couleurs	100	T	0,94	2
Vernis	Vert chrome		T	0,65 - 0,70	1
Vernis	Jaune cadmium		T	0,28 - 0,33	1
Vernis	Bleu cobalt		T	0,7 - 0,8	1
Vernis	Plastique, noir	20	SW	0,95	6
Vernis	Plastique, blanc	20	SW	0,84	6
Vernis	Huile	17	SW	0,87	5
Vernis	Huile, couleurs diverses	100	T	0,92 - 0,96	1
Vernis	Huile, gris brillant	20	SW	0,96	6
Vernis	Huile, grise, mate	20	SW	0,97	6
Vernis	Huile, noire, mate	20	SW	0,94	6
Vernis	Huile, noire, brillante	20	SW	0,92	6
Wolframit		200	T	0,05	1
Wolframit		600 - 1000	T	0,1 - 0,16	1
Wolframit		1500 - 2200	T	0,24 - 0,31	1
Wolframit	Fil	3300	T	0,39	1
Zinc	Tôle	50	T	0,2	1
Zinc	oxydé à 400 °C	400	T	0,11	1
Zinc	Surface oxydée	1000 - 1200	T	0,50 - 0,60	1
Zinc	poli	200 - 300	T	0,04 - 0,05	1

Bibliographie

- 1 Mikaél A. Bramson: Infrared Radiation, A Handbook for Applications, Plenum Press, N.Y.
- 2 William L. Wolfe, George J. Zissis: The Infrared Handbook, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
- 3 Madding, R.P.: Thermographic Instruments and Systems. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science
- 4 William L. Wolfe: Handbook of Military Infrared Technology, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
- 5 Jones, Smith, Probert: External thermography of buildings ..., Proc. Of the Society of Phot-Optical Instrumentation Engineers, vol. 110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, Juni 1977 London
- 6 Paljak, Pettersson: Thermography of Buildings, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972
- 7 Vleck, J.: Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
- 8 Kern: Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites, Defence Documentation Center, AD 617 417.
- 9 Öhman, Claes: Emmittansmätningar med AGEMA E-Box. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emissivity measurements with AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)

Il existe une multitude de thermomètres infrarouges permettant de procéder à la mesure de température sans contact. Afin d'opter pour l'instrument le mieux adapté à votre application, il convient de considérer au préalable les critères suivants :

- Plage de température
- Conditions environnementales
- Taille du spot de mesure
- Matériau et nature de la surface de l'objet à mesurer
- Temps de réaction du thermomètre infrarouge
- Interface

Plage de température

Sélectionner la plage de température du capteur de manière à atteindre une résolution suffisamment élevée de la température de l'objet. Les plages de mesure sont adaptables à l'opération de mesure manuellement ou via interface numérique.

Conditions environnementales

Tenir compte de la température ambiante maximale admise des capteurs lors du choix de l'instrument de mesure. Elle s'étend jusqu'à 180°C pour la série CT. En faisant appel à des dispositifs de refroidissement par air ou par eau, le fonctionnement des appareils de mesure peut également être garanti pour des températures encore plus élevées. Si l'appareil venait à être utilisé en atmosphère poussiéreuse, il est possible de protéger l'optique à l'aide d'un dispositif de soufflage.

Taille du spot de mesure

Pour pouvoir réaliser des mesures thermiques de précision, l'objet à mesurer doit être plus grand que le champ de vision du capteur. Le diamètre du spot de mesure (S) varie en fonction de la distance séparant le cap-

teur (D) de l'objet à mesurer. Le rapport D:S est indiqué pour chaque optique sur des fiches techniques.

Matériau et nature de la surface de l'objet à mesurer

L'émissivité dépend entre autres du matériau et de la nature de la surface de l'objet à mesurer. La règle générale suivante s'applique : Plus l'émissivité est importante, plus il est simple de réaliser une mesure thermique de précision à l'aide d'un thermomètre infrarouge. L'émissivité est réglable pour de nombreux appareils de mesure infrarouges. Pour connaître les valeurs appropriées, vous pouvez p. ex. vous reporter aux tableaux relatifs aux degrés d'émission figurant en annexe.

Temps de réaction du thermomètre infrarouge

Les temps de réaction des thermomètres infrarouges sont courts, contrairement aux sondes de contact. Ils sont compris dans une plage allant de 1 ms à 250 ms et dépendent très fortement de l'élément de détection utilisé. Le temps de réaction est limité vers le bas par l'élément de détection, mais il peut être adapté à l'opération de mesure à l'aide de l'électronique (p. ex. formation de valeur moyenne ou maintien de valeur maximale).

Interfaces pour l'émission de signaux

L'interface permet l'évaluation des résultats de mesure. Les interfaces disponibles sont les suivantes :

- Interface de courant 0/4 - 20 mA
- Sortie de courant 0/1 - 10 V
- Interfaces bus, CAN et Profibus
- RS232, RS485, USB
- Ethernet

Glossaire

Absorption	également appelée degré d'absorption ; rapport entre le rayonnement absorbé par un objet et le rayonnement incident. Un chiffre entre 0 et 1.	Degré de réflexion	également appelé pouvoir réfléchissant ; rapport entre le rayonnement réfléchi par un objet et le rayonnement incident. Un chiffre entre 0 et 1.
Degré d'émission	Rayonnement émis par un objet comparé à celui d'un corps noir. Un chiffre entre 0 et 1.	Emetteur noir	Objet au degré de réflexion nul. Tout rayonnement doit être attribué à sa propre température.
Filtre	Matériau étant uniquement perméable pour certaines longueurs d'ondes infrarouges.	Rayonnement spécifique spectral	Quantité d'énergie libérée par un objet en fonction du temps, de la surface et de la longueur d'onde ($W/m^2/\mu m$)
FOV	Angle de vue (Field of view) : Angle de vision horizontal d'un objectif infrarouge.	Rayonnement spécifique	Quantité d'énergie libérée par un objet par unité de temps et de surface (W/m^2)
FPA	Focal Plane Array : type de détecteur infrarouge	Rayonnement	Quantité d'énergie libérée par un objet en fonction du temps, de la surface et de de l'angle solide ($W/m^2/sr$)
Corps gris	Objet qui émet une certaine part de la quantité d'énergie d'un corps noir pour chaque longueur d'onde.	Flux de rayonnement	Quantité d'énergie libérée par un objet par unité de temps (W)
IFOV	Angle de vision momentané : Une mesure pour la résolution géométrique d'une caméra infrarouge.	Différence de température	Valeur obtenue par soustraction de deux valeurs de température.
NETD	Différence de température équivalente au bruit. Une mesure pour le bruit optique d'une caméra infrarouge	Plage de mesure thermique	La plage de mesure thermique actuelle d'une caméra infrarouge. Les caméras peuvent disposer de plusieurs plages de mesure. Elles sont indiquées par le biais de deux valeurs de température de corps noirs servant de valeurs limites pour le calibrage actuel.
Paramètres de l'objet	Série de valeurs avec lesquelles les conditions dans lesquelles les mesures sont réalisées, ainsi que l'objet à mesurer lui-même sont décrits (p. ex. degré d'émission, température ambiante, distance etc.)	Thermogramme	Image infrarouge
Signal de l'objet	Valeur non calibrée renvoyant à la quantité de rayonnement que la caméra reçoit de l'objet à mesurer.	Transmission	également appelée degré de transmission ; les gaz et les corps solides n'obéissent pas aux mêmes règles en termes de perméabilité. La transmission correspond à la quantité de rayonnement infrarouge qu'ils laissent traverser. Un chiffre entre 0 et 1.
Palette	Couleurs utilisées pour l'affichage d'une image infrarouge	Environnement	Objets et gaz émettant un rayonnement à l'objet à mesurer.
Pixel	Synonyme d'élément d'image. Il s'agit d'un point unique d'une image.		
Température de référence	Température avec laquelle les valeurs de mesure régulières peuvent être comparées.		

Vue d'ensemble des capteurs et systèmes de mesure de Micro-Epsilon



Capteurs de déplacement, de distance, de longueur et de position

Capteurs à courants de Foucault
Capteurs optiques et laser
Capteurs capacitifs
Capteurs inductifs
Capteurs à fil tendu
Micromètres laser grande vitesse
Scanners à ligne laser
Traitement d'images et systèmes



Capteurs et systèmes de mesure de température sans contact (pyromètres)

Caméras infra-rouges
Capteurs à poste fixe infra-rouges
Pyromètres à main



Machines et systèmes de mesure intégrés Postes de contrôle

pour plastiques et extrusion
pour feuillards et laminés
pour pneumatiques et bandes de caoutchouc
pour composants mécaniques
(paliers, sièges etc.)
verre et verre formé