

innovative infrared technology

PRINCIPES DE BASE

de la mesure de
température sans contact

Sommaire

	Page
Principes physiques	4 – 9
Emissivité et mesure de température	10 – 14
Optiques-techniques de visée et électroniques	15 – 18
Pyromètres et applications	19 – 24
Caméras infrarouges et applications	25 – 31
Bibliographie	32
Annexe: Glossaire	33
Annexe: Table d'émissivité	34 – 38
Annexe: Critères de sélection pour la mesure de température sans contact	39

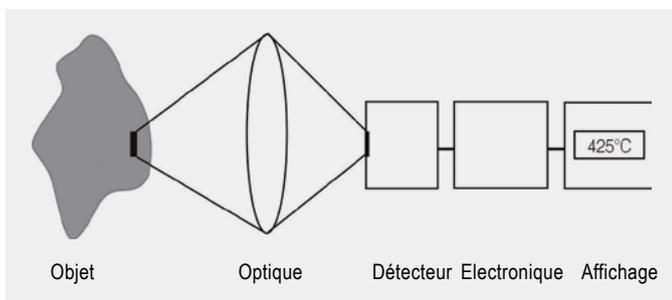
Principes physiques

Principes physiques

Avec nos yeux, nous voyons le domaine de la lumière visible. Toutefois ce domaine ne représente qu'une très faible partie du spectre des rayonnements électromagnétiques. La grande majorité de ces rayonnements est invisible à nos yeux, et contient néanmoins de précieuses informations.

Principe de la mesure de température par infrarouge

La surface de chaque corps dont la température est supérieure au zéro absolu ($-273,15^{\circ}\text{C} = 0$ Kelvin) émet un rayonnement électromagnétique, proportionnel à sa température intrinsèque. Une partie de ce rayonnement intrinsèque est située dans l'infrarouge et peut caractériser la température de ce corps. Ce rayonnement se propage dans l'atmosphère. A l'aide d'une lentille (Objectif d'entrée) les faisceaux sont collimatés sur un détecteur qui génère un signal électronique proportionnel au rayonnement reçu. Ce signal est amplifié et, grâce à un algorithme de calcul puissant, est transformé

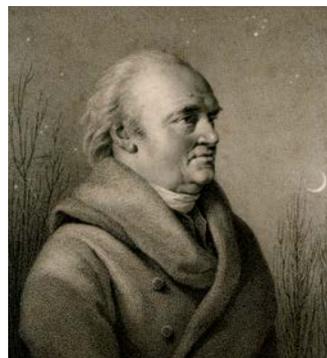


Système Infrarouge

en un signal de sortie proportionnel à la température de l'objet visé. La valeur mesurée peut alors être affichée sur un indicateur numérique ou encore être retransmise sous la forme d'une sortie analogique aisément exploitable par tout système de contrôle-commande ou système d'exploitation de procédé.

Les avantages de la mesure des températures sans contact sont les suivants:

- Mesure de températures sur des cibles mouvantes, sur des objets surchauffés ou dans des zones dangereuses pour les opérateurs.
- Temps d'exposition et de réponse très rapide
- Mesure non-interactive, aucune influence sur l'objet visé
- Mesure non-intrusive, donc non destructrice
- Longévité du dispositif, pas d'interaction mécanique

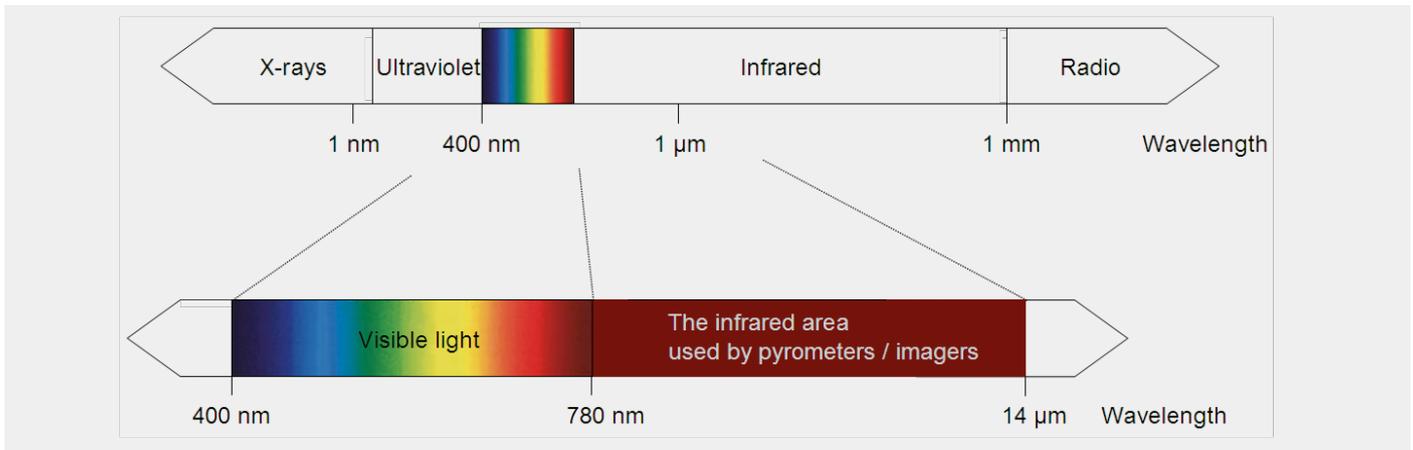


William Herschel (1738–1822)



Découverte des rayonnements infrarouges

En recherchant un nouveau matériau optique, William Herschel découvrit accidentellement le rayonnement infrarouge en 1800. Il eut l'idée de noircir l'extrémité d'un thermomètre à mercure, et d'en faire un système de mesure pour comparer les propriétés de chauffe des différentes couleurs du spectre, après leur diffraction dans un prisme. Par ce biais, il pût tester les différentes couleurs de la lumière blanche. Déplacé dans la partie sombre au-delà de la couleur rouge, Herschel s'aperçut que la température continuait à croître. Il constata que le point du maximum de la température se situait bien au-delà de la zone du rouge. Aujourd'hui, nous appelons cette zone, le rayonnement infrarouge.



Le spectre électromagnétique avec la portion utilisée par les pyromètres.

Le spectre électromagnétique

Au sens littéral comme au sens physique, un spectre est considéré comme un ensemble d'ondes électromagnétiques répertoriées par longueur d'onde ou par fréquence. La dénomination d'un spectre de rayonnement électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde (ou de leur fréquence). Tous les types de radiation électromagnétiques suivent des principes de diffraction, réflexion, et polarisation. Leur vitesse de propagation correspond à celle de la lumière (dans des conditions normales): Le produit longueur d'onde par fréquence est constant et défini par la relation suivante:

$$\lambda \cdot f = c$$

Le rayonnement infrarouge couvre une portion très limitée du spectre total du rayonnement électromagnétique : il démarre juste après le domaine visible à 0,78 μm et finit à une longueur d'onde approximative de 1000 μm.

La plage de longueurs d'ondes de 0,7 à 14 μm est très importante pour la mesure des températures sans contact. Au-delà de ces valeurs, le niveau d'énergie est très faible, et les détecteurs ne sont pas assez sensibles pour assurer correctement les mesures.

Principes physiques

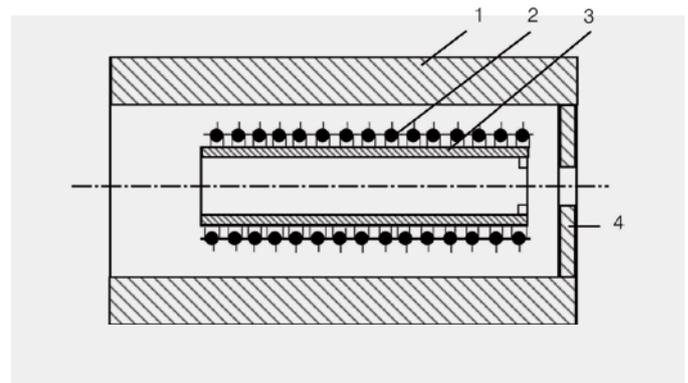
En 1900 Max Planck, Josef Stefan, Ludwig Boltzmann, Wilhelm Wien and Gustav Kirchhoff ont défini et établi les corrélations qualitatives et quantitatives pour décrire l'énergie infrarouge. Ils écrivirent les principales lois du rayonnement électromagnétique.

Le corps noir

Un corps noir est un principe physique abstrait qui absorbe intégralement toutes les radiations émises en sa direction. Il n'a donc ni propriété réfléchive ni transmissive. C'est donc le radiateur idéal ou l'émetteur parfait.

$$\alpha = \varepsilon = 1 \quad (\alpha \text{ absorption, } \varepsilon \text{ émissivité})$$

Un corps noir émet le maximum d'énergie possible à chaque longueur d'onde. La concentration de ces radiations ne dépend pas de l'angle d'émission. La notion de corps noir est essentielle pour comprendre les principes physiques de la mesure des températures sans contact, et pour l'étalonnage de tous les pyromètres infrarouges.



Coupe d'un corps noir:

1 – conduit ceramique, 2 – chauffe, 3 – conduit en Al₂O₃, 4 – ouverture

La construction d'un corps noir est assez simple. Une enceinte thermique présente une extrémité percée d'un orifice de faible diamètre. Quand le corps est chauffé, qu'il atteint la température recherchée et que l'équilibre thermique est fait, alors l'orifice émet idéalement les radiations de référence correspondant à la température de consigne. Pour chaque niveau de température et application, la construction de ces

Principes physiques

corps noirs implique des matériaux et des structures géométriques différentes.

Si l'ouverture est de taille très petite comparée à l'enceinte totale, les écarts avec la notion théorique sont très faibles. En visant l'ouverture, vous pouvez considérer avoir une température de référence vous permettant de procéder à l'étalonnage de vos appareils de mesure. Dans la pratique, des solutions assez simples sont réalisées avec des systèmes présentant une surface en graphite ou recouvertes de peintures à pigments. Celles-ci présentent des coefficients d'absorption et d'émissivité de 99 % dans la plage de longueurs d'ondes requise et constituent de bons corps noirs.

Principes de rayonnement du corps noir

La formule du rayonnement établie par Planck montre la corrélation basique pour la mesure des températures sans contact: Elle donne la distribution spectrale hémisphérique de l'énergie rayonnée $M_{\lambda S}$ par un corps noir fonction de sa température T et de sa longueur d'onde λ .

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

- 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 constante de Planck
- k constante de Boltzmann

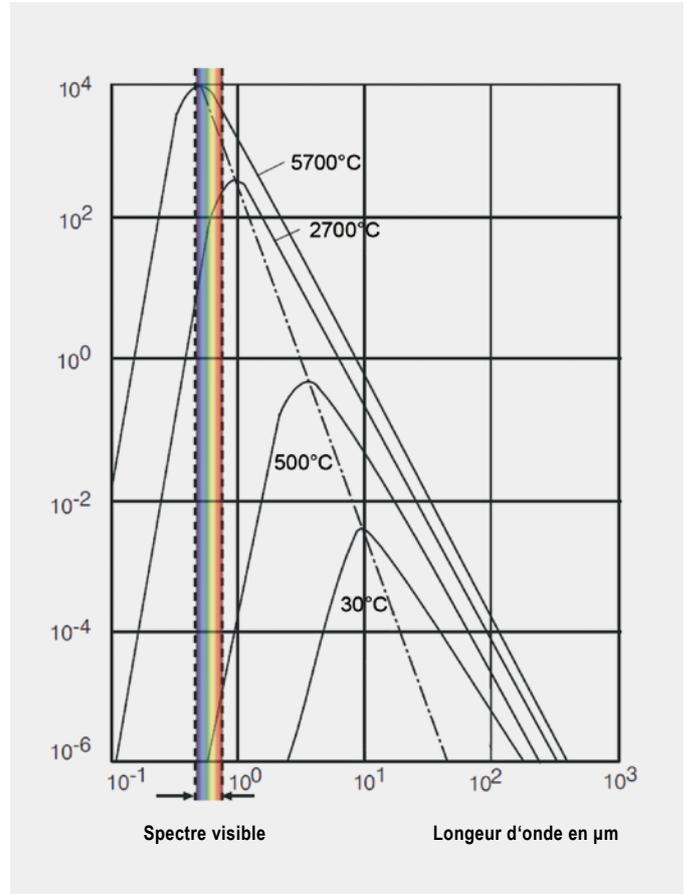
L'illustration suivante permet de visualiser le domaine spectral associé à quelques températures typiques.

En augmentant les températures, le maximum de la distribution spectrale se déplace vers les courtes longueurs d'onde. Cette loi est très théorique, elle ne peut donc être utilisée pour la plus grande partie des applications pratiques. Il est cependant possible d'en utiliser des variations corrélatives. Par exemple, en intégrant cette distribution sur tout le spectre depuis 0 à l'infini, on obtient la valeur totale de l'énergie rayonnée par un corps noir. Cette expression est connue comme étant la loi de Stefan Boltzmann.

$$M_{\lambda S} = \sigma \cdot T^4 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

L'énergie émise par un corps noir sur l'ensemble du spectre est proportionnelle à la puissance quatrième de sa température absolue. La représentation graphique de la loi de Planck montre aussi que la longueur d'onde, lieu du maximum d'émission change avec la température. La loi du déplacement de Wien peut être obtenue par une simplification de la loi de Planck.

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



Distribution spectrale $M_{\lambda S}$ d'un corps noir

La longueur d'onde qui présente le rayonnement maximum se déplace vers les courtes longueurs d'onde au fur et à mesure que la température du corps noir augmente.

Le corps gris

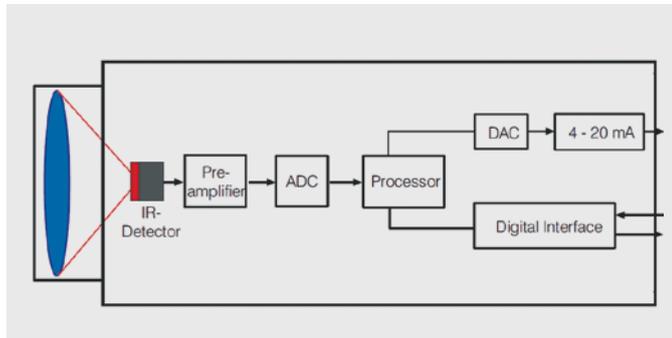
Dans la nature, peu de corps ont les propriétés du corps noir, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas de parfaits radiateurs. La plupart des corps réels émettent beaucoup moins d'énergie pour une température donnée. Le rapport « énergie émise par un corps réel / énergie émise par un corps noir » dans les mêmes conditions est dénommé émissivité ϵ . C'est un nombre sans dimension. Un corps gris est un corps pour lequel l'émissivité ne varie pas en fonction de la longueur d'onde. Donc dans le cas de la mesure de température d'un corps gris, le détecteur infrarouge reçoit l'énergie émise par la surface de l'objet visé mais aussi le rayonnement de l'environnement réfléchi par la cible et potentiellement l'énergie transmise par la cible.

On peut écrire la loi suivante: $\epsilon + \rho + \tau = 1$

- ϵ émissivité
- ρ réflexion
- τ transmissivité

La plupart des corps ne présentent pas de transmission dans l'infrarouge. En conséquence, on peut appliquer la loi suivante :

$$\epsilon + \rho = 1$$



Shema descriptif d'un thermomètre infrarouge

Construction et fonctionnement des pyromètres

Le schéma ci-dessous montre la construction standard d'un thermomètre sans contact. L'optique va concentrer le rayonnement émis par la cible sur un détecteur infrarouge. Le détecteur génère un signal électrique proportionnel au rayonnement reçu, qui est ensuite amplifié pour être traduit en température ; la valeur de température est mise en forme pour être affichée et / ou retransmise sous format analogique ou numérique.

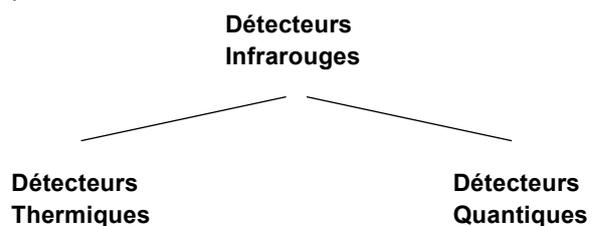
Pour compenser l'influence de la température environnementale (réflexion sur la cible, échauffement du capteur infrarouge), un détecteur dédié mesure la température interne de l'instrument ou celle de son système optique. La détermination de la température de l'objet mesuré est effectuée en trois étapes:

1. Transformation du rayonnement infrarouge reçu en un signal électronique
2. Compensation du rayonnement environnemental réfléchi par l'objet à mesure et reçu et par l'instrument
3. Linéarisation et exploitation de l'information de température

En plus de l'affichage de la valeur de température, le thermomètre délivre un signal analogique linéarisé tel que 0/4 – 20 mA, 0 – 10 V, ou encore un équivalent thermocouple. Ceci permet un raccordement aisé à tout système de conduite de procédé. De plus pour prendre en compte l'information des sites de fabrication, la plupart des thermomètres infrarouges utilisés dans l'industrie présentent aussi des interfaces numériques (USB, RS485, Ethernet) pour l'exploitation numérique des données ou le pilotage à distance des installations.

Détecteurs Infrarouges

L'élément le plus important d'un thermomètre infrarouge est le capteur de rayonnement encore appelé détecteur. Il y a deux groupes principaux de détecteurs infrarouges



- Détecteurs Thermiques
 - Thermopiles
 - Pyroélectriques
 - Bolomètres FPA (matrices pour caméras TIR)
- Détecteurs Quantiques

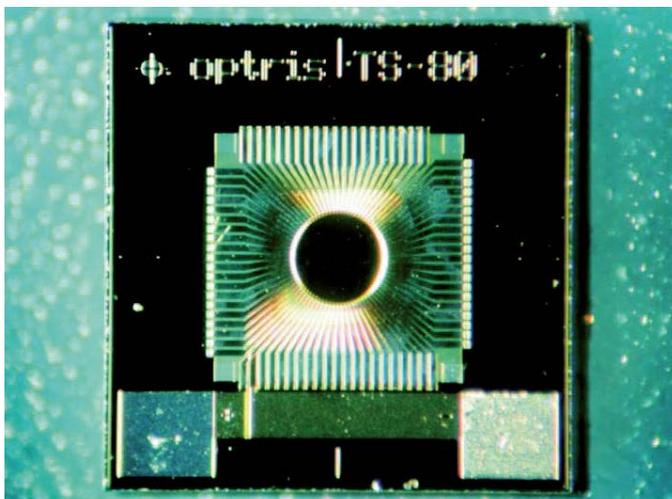
Principes physiques

Détecteurs Thermiques

Avec ce type de détecteurs, l'absorption du rayonnement change la température de l'élément sensible. Cette variation de température modifie l'état de la caractéristique du détecteur liée à la température. La modification d'état est analysée électroniquement et permet une mesure de l'énergie absorbée.

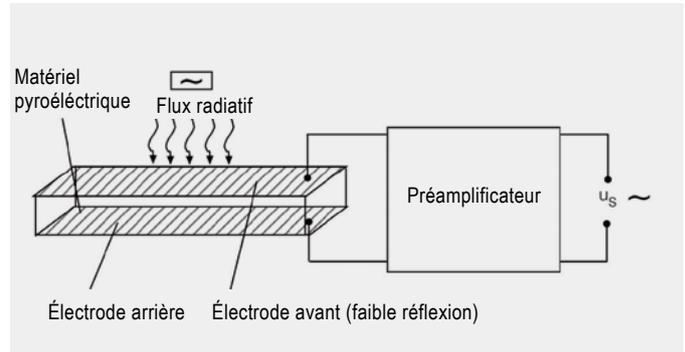
Thermopiles

Quand le point de connexion de deux matériaux métalliques différents est chauffé, l'effet thermoélectrique résultant est une tension électrique. Cet effet est utilisé depuis longtemps avec les thermocouples (mesure par contact). Si la connexion est chauffée par absorption du rayonnement, le composant



Thermopile TS80

résultant est appelé « thermocouple à radiation ». L'illustration ci-dessus montre une thermopile, détecteur composé d'un ensemble de thermocouples bismuth / antimoine, montés sur un chip avec substrat absorbant. Lorsque la température du détecteur augmente, il en résulte une tension proportionnelle, qui peut être exploitée aux bornes de raccordement de l'embase.



Construction d'un détecteur pyroélectrique

Détecteurs Pyroélectriques

Le schéma ci-dessus montre la construction basique d'un détecteur pyroélectrique. Cet élément sensible est constitué d'un matériau pyroélectrique avec deux électrodes. Une variation de température de l'élément sensible, due à l'absorption de rayonnement infrarouge, engendre une variation de polarisation donc de potentiel (effet pyroélectrique). Le signal électrique ainsi créé est traité par un étage amplificateur. Par principe, la différence de potentiel créée s'amenuise avec la relaxation diélectrique du matériau. Ceci induit le besoin d'un rayonnement continu mais alternativement haché. Le bénéfice de ce mode de fonctionnement est un meilleur rapport signal-sur-bruit.

Bolomètres

Les bolomètres exploitent la relation température / résistance électrique. L'élément sensible est une résistance, dont la valeur change avec l'absorption de chaleur. De la variation de résistance peut résulter une variation de tension. Le matériau constitutif doit présenter un coefficient de température de résistance (TCR) afin d'atteindre une meilleure sensibilité ainsi qu'une bonne détectivité spécifique.

Les bolomètres qui opèrent à la température ambiante utilisent le coefficient de température des résistances métalliques (i.e. couches noires et bolomètres à couche mince) ou encore des résistances semi-conductrices (i.e. bolomètres thermistors).

De nos jours, les imageurs infrarouges utilisent les plus récents développements de détecteurs:

La technologie des semi-conducteurs remplace les scanners mécaniques. FPAs (Focal Plane Arrays) ou matrices à plan focal sont produites à partir de bolomètres à couches minces. Ainsi les éléments VOX (Vanadium oxide) ou Si (Silicium amorphe) sont les supports les plus courants. Ces technologies améliorent le rapport prix-performances. A présent, les matrices les plus répandues sont 160 x 120, 320 x 240 et 640 x 480 pixels.

Détecteurs quantiques

La différence majeure entre les détecteurs quantiques et les détecteurs thermiques est leur temps de réponse aux radiations reçues. Le mode opératoire des détecteurs quantiques est basé sur l'effet photoélectrique. Les photons conduisent les électrons à un niveau d'énergie supérieur à l'intérieur du matériau semi-conducteur. Lorsque ces électrons redescendent au niveau d'origine, un signal électrique est généré (tension ou puissance ou quelquefois une variation de résistance). Ces signaux peuvent être précisément évalués: Ces détecteurs quantiques sont très rapides (de ns à μ s)

A l'inverse, un détecteur thermique réagit relativement lentement. Sa constante de temps est en général bien supérieure à celle d'un quantique. En première approche, on peut affirmer que la constante de temps d'un détecteur thermique s'exprime en millisecondes alors que celle d'un quantique sera voisine de quelques nanosecondes ou microsecondes.

Malgré le développement rapide des détecteurs quantiques, il y a de nombreuses applications pour lesquelles les détecteurs thermiques sont les mieux adaptés. C'est pourquoi ils gardent toute leur place dans le domaine de la détection des températures sans contact.

Transformation d'un rayonnement infrarouge en signal électrique, et calcul de la température

Selon la loi de Stefan Boltzmann, le signal électrique reçu par le détecteur est exprimé comme suit:

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

Comme le rayonnement ambiant ainsi que le rayonnement propre du thermomètre infrarouge doivent aussi être pris en considération, la formule devient:

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

U	Signal reçu par le Détecteur
T_{obj}	Température de la cible visée
T_{amb}	Température de l'environnement radiatif
T_{pyr}	Température de l'instrument thermomètre IR
C	Constante spécifique de l'appareil

$$\rho = 1 - \varepsilon \quad \text{Réflectivité de l'objet}$$

Les thermomètres infrarouges ne couvrent pas le spectre total, donc l'exposant $n = 4$, défini par Stefan Boltzmann n'est pas applicable. L'exposant dépend alors de la longueur d'onde λ . Pour le domaine des longueurs d'onde de 1 à 14 μ m, n est compris entre 17 et 2 (entre 2 et 3 pour les grandes longueurs d'onde et 15 et 17 pour les courtes).

On dispose donc de la formule suivante pour qualifier le signal reçu par le détecteur, sur une longueur d'onde définie.

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

Ainsi la température de la cible est exprimée comme suit:

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

Les résultats de ces calculs pour chacune des températures sont stockés dans une EEPROM du thermomètre infrarouge. Ceci permet un accès rapide et un calcul rapide des températures.

Emissivité

Cette formule montre que l'émissivité ε est essentielle, dès lors qu'il s'agit de mesurer les températures par rayonnement électromagnétique. Cette valeur comprise entre 0 et 1 donne le rapport entre le rayonnement du corps visé, et le rayonnement du corps noir dans les mêmes conditions de température et de longueur d'onde. L'émissivité maximum, égale à 1 est celle du corps noir. Un corps gris est un objet, qui a la même émissivité pour toutes les longueurs d'onde et qui émet moins de radiation IR que le radiateur idéal ou corps noir ($\varepsilon < 1$). Les corps qui ont des émissivités, qui dépendent de la température aussi bien que de la longueur d'onde, sont appelés non-gris ou sélectifs (i.e. métaux).

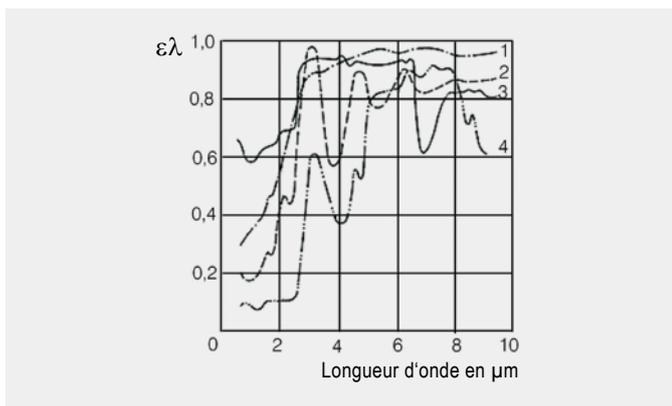
Voir la table d'émissivité page 34

Emissivité et mesure de la température

Emissivité et mesures des températures

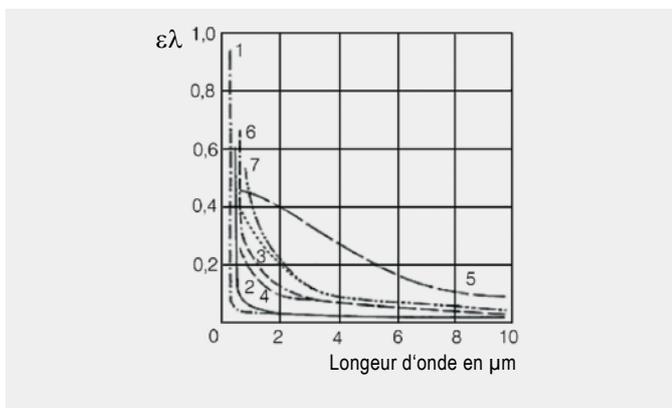
L'émissivité est un paramètre clé pour une mesure précise de la température. Elle dépend de plusieurs facteurs et doit être ajustée par application.

Théoriquement, l'émissivité dépend de la nature du matériau, de sa surface (et son état), de sa température, de la longueur d'onde, de l'angle de visée, et parfois aussi du procédé de mesure. De nombreux corps non-métalliques présentent des émissivités élevées et relativement constantes, en particulier pour le domaine des longueurs d'ondes élevées.



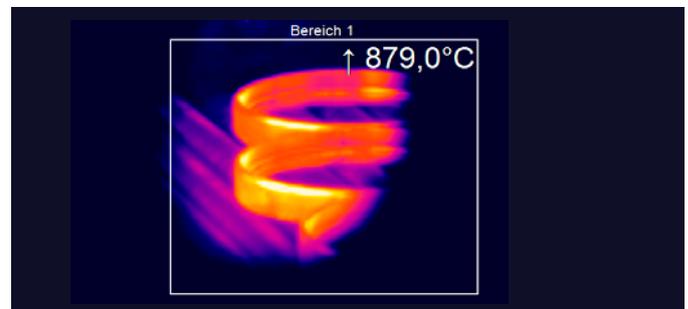
Emissivité cible non métalliques: 1 Email, 2 Plâtre, 3 Béton, 4 Argile

Généralement, les métaux présentent de faibles émissivités, dépendant fortement de l'état de surface du métal, et qui décroissent fortement avec la longueur d'onde, ainsi que le montre la figure ci-dessous.



Emissivité cible métallique: 1 Argent, 2 Or, 3 Platine, 4 Rhodium, 5 Chrome, 6 Tantale, 7 Molybdène

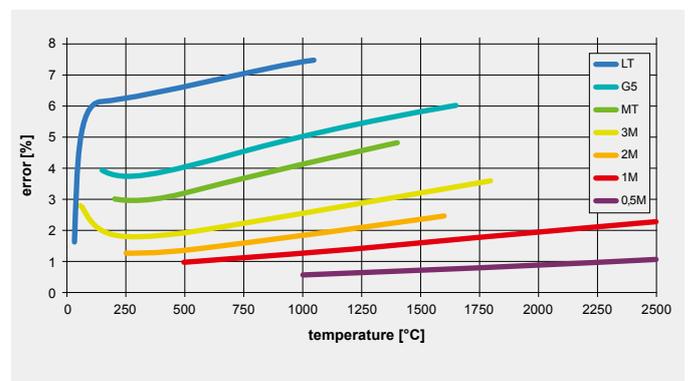
Mesure de température des métaux



Mesure de bagues de roulement pendant la trempe

Cela pourrait générer des mesures variables et non fiables. A la sélection d'un appareil en fonction de la température, assurez-vous que la longueur d'onde choisie, en particulier pour les métaux, corresponde à une émissivité relativement importante. Le graphique ci-dessous montre que l'utilisation de la longueur d'onde la plus courte possible permet de réduire au minimum l'influence d'un comportement émissif changeant. Pour les métaux, une solution optimale est la longueur d'onde 0,8 - 1 μm en limite du spectre visible.

En plus, les longueurs d'onde 1,6 μm , 2,2 μm et 3,9 μm sont possibles.



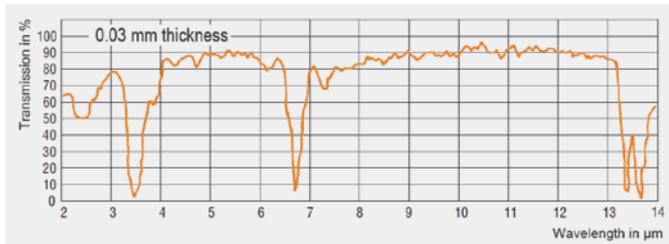
Erreur de mesure liée à un erreur d'ajustement d'émissivité de 10 %, en relation avec la longueur d'onde et la température de l'objet (LT: 8 - 14 μm ; G5: 5 μm ; MT: 3.9 μm ; 3M: 2.3 μm ; 2M: 1.6 μm ; 1M: 1.0 μm); 05M: 525 nm.

Plus d'informations dans:

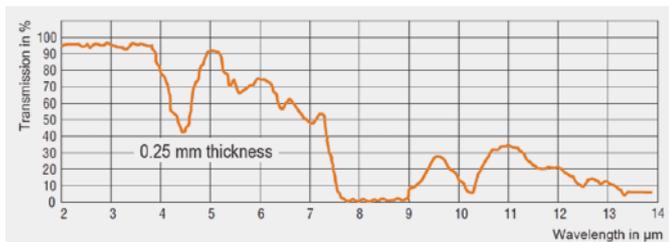
<http://www.optris.fr/metaux>

Mesure de température des plastiques

Le taux de transmission des plastiques varie avec la longueur d'onde. Il est inversement proportionnel à l'épaisseur. Ainsi, un plastique fin est plus transmissif que le même plastique d'épaisseur plus grande. Les meilleurs résultats de mesure sont obtenus lorsque la caractéristique de transmissivité est voisine de zéro. Indépendamment de l'épaisseur, Polyéthylène, polypropylène, nylon et polystyrène sont non-transmissifs à 3,43 µm; polyester, polyuréthane, Teflon FEP et polyamide sont non-transmissifs à 7,9 µm. Pour des épaisseurs plus élevées, la bande 8-14 peut aussi être utilisée.

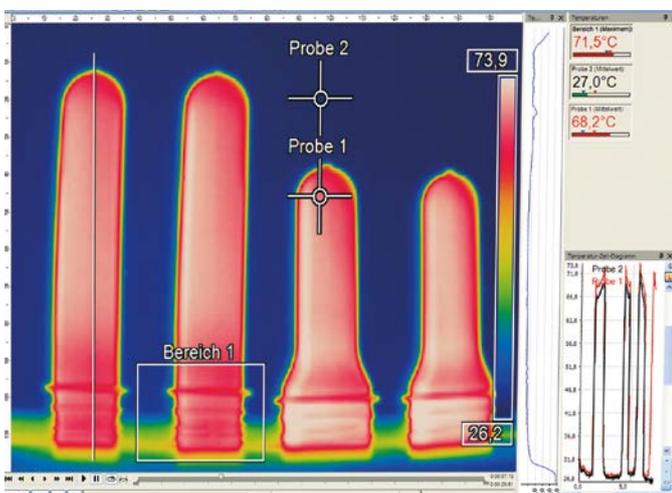


Transmissivité d'un film de polyéthylène



Transmissivité d'un film de polyester

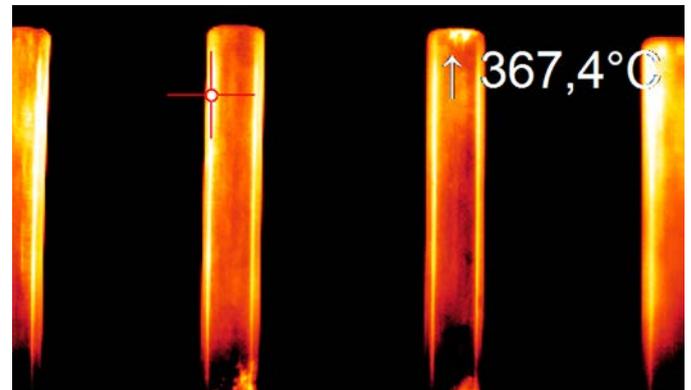
Le fabricant de thermomètres infrarouges peut déterminer le domaine spectral le mieux adapté pour la mesure d'une plage de température donnée, en caractérisant les différents plastiques à traiter. La réflectivité de la plupart des plastiques est comprise entre 5 et 10 %.



Analyse détaillée de préformes durant une production de bouteilles plastiques

Plus d'informations sur les applications plastiques dans notre brochure:
<http://www.optris.fr/matieres-plastiques>

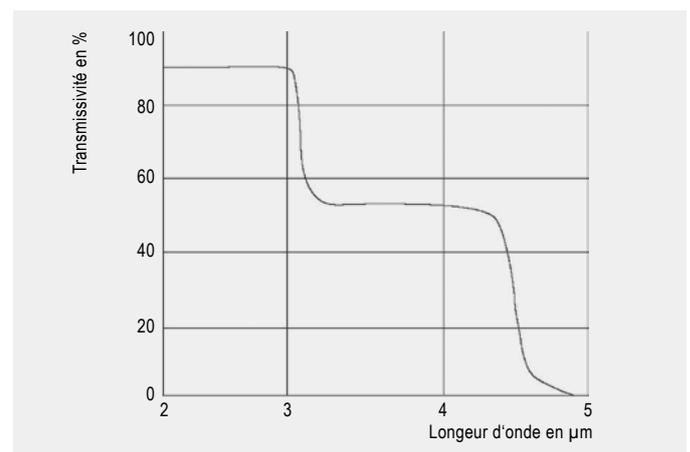
Mesure de température du verre



Mesure de points chauds sur des tubes de verre

Pour la mesure de température du verre, avec un thermomètre IR ou une caméra thermique, la réflectivité, la transmissivité, l'épaisseur du matériau et l'étendue de mesure doivent être considérées. Une sélection rigoureuse des longueurs d'onde doit donc être effectuée

Les longueurs d'onde 1,0 µm, 2,2 µm ou 3,9 µm sont appropriées pour les verres épais, alors que 5 µm et 7,9 µm seront recommandées pour des mesures en surface et pour les faibles épaisseurs. Pour les basses températures, la plage bien connue de 8 à 14 µm peut être choisie en combinaison avec une émissivité de 0,85 afin de compenser l'effet de la réflexion. Pour ce cas particulier, un faible temps de réponse doit être utilisé, puisque le verre est un conducteur médiocre de la chaleur, et que sa température de surface peut changer rapidement.



Transmissivité du verre

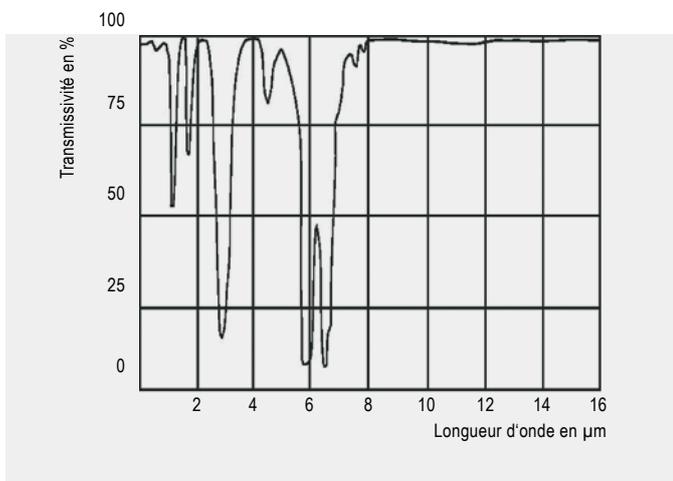
Plus d'information sur les applications de verre dans notre brochure:
<http://www.optris.fr/surveillance-de-la-temperature-dans-l-industrie-du-verre>

Emissivité et mesure de températures

Influences environnementales

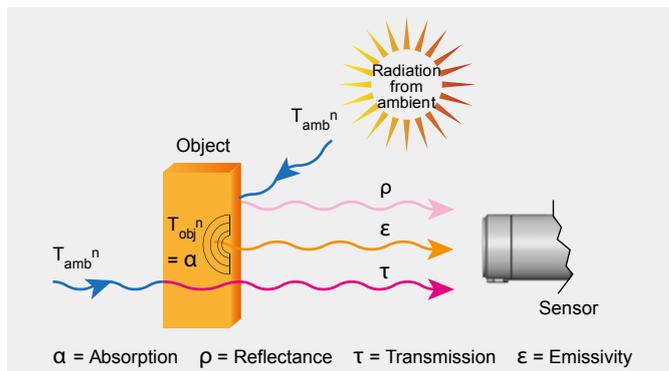
Le graphe ci-dessous montre que la transmissivité de l'air est fortement dépendante de la longueur d'onde. Des zones de transmission quasi-nulles alternent avec des zones de haute transmissivité –on parle de fenêtre atmosphérique. La transmissivité dans le domaine haut de la fenêtre atmosphérique (8 – 14 μm) est toujours élevée, tandis que dans les zones de courtes longueurs d'onde, ces défauts de transmission de l'atmosphère peuvent conduire à de mauvais résultats. Les fenêtres sûres sont 1,1 – 1,7 μm , 2 – 2,5 μm et 3 – 5 μm .

D'autres variables additionnelles perturbatrices sont les sources de rayonnement parasites environnantes ; elles peuvent se réfléchir sur de la cible visée. Pour obtenir un bonne mesure, le thermomètre IR compense l'influence des températures ambiantes, soit avec une sonde intégrée soit avec un capteur externe- exemple typique : la mesure de température de métaux en fours industriels ; les parois sont plus chaudes que la cible visée et sont donc une source de rayonnement parasite. Un second thermomètre mesurant les parois permet de compenser en continu et automatiquement l'influence des températures environnantes.



Transmissivité spectrale de l'air (1 m, 32 °C, 75 % r. F.)

Des poussières, fumées, et matières en suspension dans l'atmosphère peuvent aussi conduire à des résultats erronés. L'utilisation d'un système additionnel de soufflage d'air prévient du dépôt de particules sur l'optique, et permet un chemin optique dégagé. Les accessoires de refroidissement par air ou par eau, de soufflage d'air et de protection optique par fenêtre additionnelle autorisent l'usage des thermomètres et des caméras IR dans les applications industrielles les plus hostiles.



Compensation des influences ambiantes

Détermination expérimentale de l'émissivité

Dans l'annexe vous trouverez une table des valeurs d'émissivités pour différents matériaux issues de la littérature technique et d'essais terrain. Il y a différentes façons de déterminer expérimentalement l'émissivité.

Méthode 1: Avec une sonde de contact (thermocouple / PT100):

Mesurer simultanément la cible avec une sonde de contact et un thermomètre IR. Ajuster l'émissivité afin de retrouver la valeur de température mesurée par la sonde de contact. La sonde de contact doit être correctement positionnée sur la surface, et présenter un faible taux de dissipation de chaleur.

Méthode 2: Créer un pseudo corps noir avec un objet test du matériau mesuré:

Un trou foré d'une profondeur d'au moins 3 fois le diamètre se comporte comme un corps noir avec une émissivité proche de 1. Il est nécessaire de bien viser le fond du puits pour obtenir une valeur réaliste de la température de ce pseudo-corps noir. L'émissivité peut alors être déterminée.

Méthode 3: Utiliser une surface de référence:

Une pastille adhésive d'émissivité forte et connue est appliquée sur l'objet à mesurer. Cette valeur d'émissivité est réglée dans le thermomètre IR ; la température de la bande d'adhésif peut alors être mesurée. Subséquemment, la température à côté de ce point de référence devra être mesurée. L'émissivité devra être simultanément ajustée pour obtention d'une valeur identique.

Étalonnage des thermomètres IR ^{[1] [2]}

Les thermomètres IR sont étalonnés à l'aide de sources de référence de radiations, appelées corps noirs. Ils sont capables de rayonner et de générer différentes températures avec une haute stabilité (Voir aussi page 5, le corps noir).

Connaître la valeur exacte de la température de rayonnement est essentiel dans le processus d'étalonnage. Elle peut être mesurée soit par une sonde de contact (en combinaison avec la détermination de l'émissivité) ou bien à l'aide d'un thermomètre étalon secondaire. Cette valeur peut alors être utilisée pour déterminer la constante de l'appareil à l'occasion de l'étalonnage initial du détecteur infrarouge. Afin d'assurer un étalonnage ultérieur de qualité, réalisable par l'utilisateur lui-même, voire par un prestataire local, la température fixée devra être voisine de la température de travail de l'application visée.

Optris utilise un thermomètre à radiation standard LS-PTB (Voir l' image) pour déterminer la température de radiation d'une source de référence. Le modèle spécial LS-PTB est basé sur le thermomètre portable IR optris® LS. La version LS-PTB est reliée à l'International Temperature Scale datant de 1990 (ITS-90). Cet étalon secondaire est calibré par le PTB (German National Metrological Institute) à intervalles réguliers.

ITS-90 conduit à une très bonne approximation des températures thermodynamiques. Elle est construite sur 17 valeurs très reproductibles comme les points de changement de phases de métaux à très haute pureté. Dans l'esprit de la norme ITS-90, le LS-PTB est comparé aux standards nationaux de température du PTB dont chaque élément de la chaîne de mesure est métrologiquement tracé.



Certificat du German National Metrological Institute (PTB)

Basé sur ce matériel LS-PTB, Optris fournit le LS-DCI comme un thermomètre de référence de haute précision pour ses clients utilisateurs. Les instruments DCI sont produits avec des composants présélectionnés pour garantir une mesure de haute stabilité. En combinaison avec une calibration dédiée en trois points d'étalonnage, le LS-DCI fournit la plus haute précision envisageable en ces trois points de référence.



optris® LS-PTB

Emissivité et mesure des températures



Station de calibration automatique chez Optris GmbH

Le champ optique d'un thermomètre IR est défini par le ratio distance / spot de mesure (D:S). Distance de visée sur diamètre de cible analysée. En réalité, et selon la qualité du système optique, une certaine quantité de rayonnement issue de l'environnement de la cible visée est aussi capté par le détecteur, la valeur maximum de ce rayonnement est celle émise par une source de rayonnement hémisphérique. La variation de signal induite par ce rayonnement en corrélation avec le re- dimensionnement de la source est décrite par le size-of-source effect (SSE).

Comme résultat de cette corrélation, tous les constructeurs de thermomètres IR utilisent des moyens d'étalonnage très fiables et précis pour la calibration de leurs produits. Le diamètre d'ouverture du corps noir et la distance de visée sont spécifiquement définis pour chaque série de produits et sont propres à chaque fabricant. Ainsi les valeurs des champs de visée spécifiées dans les documentations sont généralement définies avec un pourcentage maximum possible de radiation ; les valeurs de 90 % ou 95 % sont communément retenues.

Optris dispose des laboratoires internes dotés des plus récents équipements pour garantir les plus hautes performances de calibration de l'ensemble de sa gamme produits. Le certificat d'étalonnage fourni par OPTRIS ne comprend pas seulement les valeurs de température et d'humidité relative pour chaque point mais aussi le diamètre d'ouverture du corps noir, ainsi que la distance de visée.

Optiques, techniques de visée et électroniques

Construction des thermomètres infrarouges

Malgré des différences dans le choix des optiques, électroniques, technologies, dimensions et conditionnements, la chaîne de traitement du signal est toujours la même, depuis la concentration d'un faisceau optique jusqu'à la sortie d'un signal de température.

Lentilles et fenêtres d'entrée

La chaîne de mesure commence avec un système optique généralement constitué d'une lentille. Cette lentille reçoit un flux rayonné, qu'elle va concentrer sur un détecteur. Les mesures basées sur cette technologie peuvent être jugées correctes si la source visée est supérieure en taille au détecteur. Le rapport de distance D/S est le rapport : Distance de mesure / diamètre du Spot. Cette résolution optique est le premier critère de choix d'un pyromètre IR.

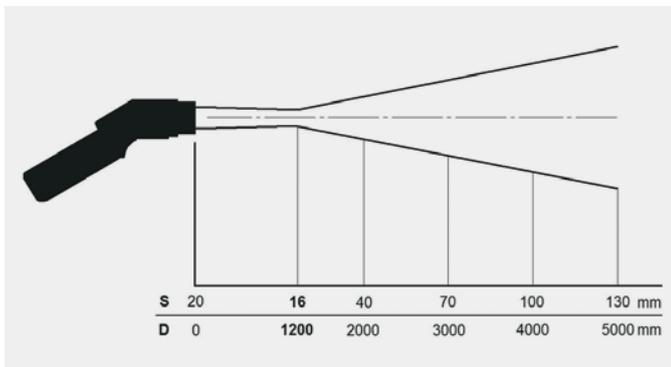
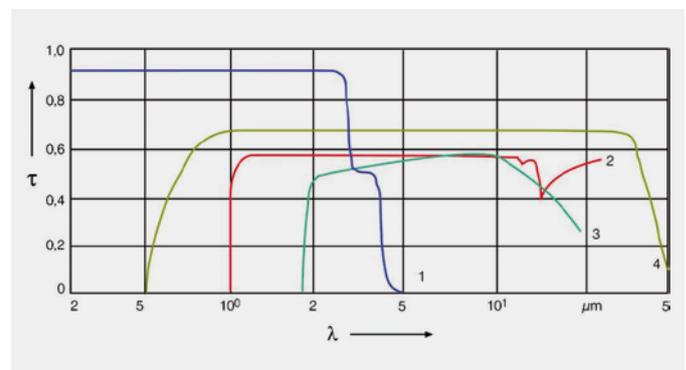


Diagramme optique d'une sonde infrarouge

Selon la nature de leur matériau constitutif, les lentilles infrarouges ne seront performantes que dans une plage donnée de longueurs d'ondes. La figure ci-dessous montre les caractéristiques de transmission pour les principaux matériaux susceptibles de traiter les radiations infrarouges.



Transmissivité de matériaux typiques (1 mm thick)
1 Verre, 2 Germanium, 3 Silicium, 4 KRS₅

Pour quelques applications bien précises, il est nécessaire d'effectuer la mesure à travers une optique additionnelle : hublot ou fenêtre de mesure. Fours de réactions chimiques, ou fours et chambres à vide. La transmissivité de cette fenêtre devra être compatible avec la sensibilité spectrale du détecteur. Le Quartz est acceptable pour la mesure des températures élevées, alors que des matériaux spéciaux comme le germanium, l'AMTIR ou le Sélénium de zinc seront nécessaires dans le cas des basses températures et de la plage de détection 8 – 14 μm . Les paramètres suivants devront aussi être considérés pour le choix d'une optique additionnelle : diamètre de la fenêtre, conditions de température et différence maximum de pression entre les deux faces. Un hublot de 25 mm de diamètre, qui doit résister à une pression différentielle de 1 bar doit présenter une épaisseur minimale de 1,7 mm. Pour effectuer la mesure d'une cible dans un four à vide, il peut être judicieux de choisir un matériau qui soit aussi transparent dans le domaine du visible.

Optiques, techniques de visée, électroniques

Matière hublot / propriétés	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaF ₂	BaF ₃	AMTIR	ZnS	ZnSe	KRS ₃	GE	Si
Longueur d'onde infrarouge recommandée en µm	1 ... 4	1 ... 2.5	2 ... 8	2 ... 8	3 ... 14	2 ... 14	2 ... 14	1 ... 14	2 ... 14	1.5 ... 8
Température max. du hublot en °C	1800	900	600	500	300	250	250	pas d'info	100	200
Transmissivité dans le spectre visible	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non
Résistance à l'humidité, aux acides, à l'ammoniac	très bien	très bien	few	few	bon	bon	bon	bon	bon	très bien
Approprié pour UHV	oui	oui	oui	oui	pas d'info	oui	oui	oui	oui	oui

Le tableau présente une vue comparative des différents matériaux pour hublots

Les fenêtres revêtues d'un dépôt anti-réflexion présentent des transmissivités élevées (jusqu'à 95 %). La perte de transmission peut être corrigée par un ajustement de transmissivité dès lors que le fabricant a fourni cette variable pour la plage de longueurs d'ondes concernée. Dans le cas contraire, celle-ci peut être expérimentalement déterminée avec un thermomètre IR et une source de référence.

Les tendances en techniques de visée

De nouveaux principes de mesures et des techniques de visée, permettent une amélioration sensible de la précision de mesure des thermomètres IR. Les innovations et le coût réduit des lasers ont permis la matérialisation multi-spots des cibles visées. A présent, les mesures faites en plusieurs points d'une même cible sont repérées par la technologie des lasers croisés. Pour d'autres systèmes, des composants caméra-vidéo remplacent les anciens systèmes d'alignement optique.

Developpement d'optiques performantes relié aux technologies de visée par lasers croisés

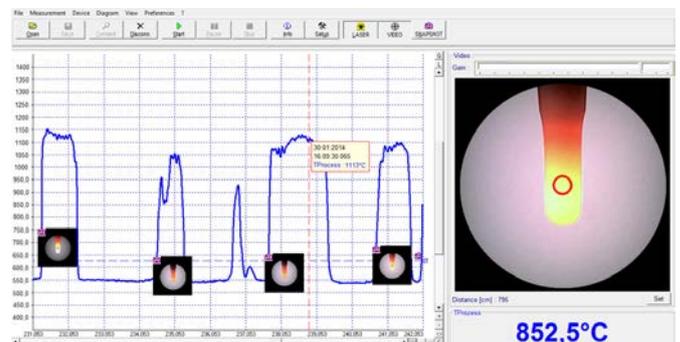
Les pyromètres infrarouges les plus simples et d'entrée de gamme incluent en général un pointeur laser à spot unique induisant une erreur de parallaxe. Avec cette technique, l'utilisateur doit estimer le diamètre de cible en fonction de la distance grâce aux abaques distance / diamètre de cible fourni par le constructeur de l'appareil.

Lorsque la source visée ne remplit pas intégralement le champ optique de l'instrument, alors la mesure obtenue est fautive. Elle est une moyenne entre la température de la cible, et celle de l'environnement ambiant. Il est impératif pour toute mesure de température sans contact, réalisée avec un thermomètre infrarouge monochromatique, de remplir intégralement le champ optique de l'instrument avec la cible à mesurer. Le rapport D/S mentionné sur l'instrument caractérise ces dimensions.

Afin d'afficher correctement la dimension de la cible visée, des systèmes optiques de visée ont été développés avec la matérialisation de la source induite par le champ optique, ce qui permet une visée précise. Depuis que les pyromètres Laser sont devenus plus efficaces et pratiques que les sondes de contact, les ingénieurs ont souhaité marquer la dimension de la cible concernée à l'aide de visée laser ; le ratio distance-diamètre reste formalisé sous forme de diagramme dans le manuel d'exploitation.

Deux faisceaux laser croisés donnent avec une bonne approximation la taille du cercle de mesure, et son évolution pour de plus longues distances de visée. Cependant cette méthode indique la surface de mesure par deux points laser sur la circonférence extérieure de celle-ci. De conception, la position angulaire de ces points laser évolue avec la distance et peut générer quelques imprécisions dans la matérialisation de la source effectivement prise en compte.

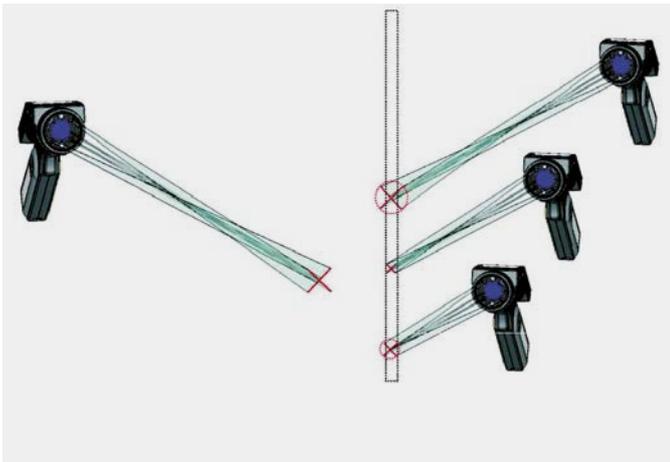
Une avancée technologique est rendue possible avec les pyromètres vidéo, qui associent un module vidéo précis couplé à des lasers croisés.



Le logiciel Optris Compact Connect permet de visualiser très précisément la visée d'un pyromètre vidéo.

Le concept lasers croisés

Les nouvelles technologies de visées laser permettent la détermination exacte des dimensions de la source visée en intégrant dans les thermomètres infrarouges un système de croisement de plusieurs faisceaux laser.



Thermomètre infrarouge avec lasers croisés pour marquage exact de la cible

Quatre diodes laser connectées à des générateurs linéaires sont disposées en ordre symétrique autour du champ optique infrarouge, afin de l'encadrer. Les générateurs linéaires, regroupés par paire, se font face deux-à-deux. Les faisceaux laser, à la distance focale, créent une croix de mesure définissant l'exacte diamètre de la cible considérée par l'appareil de mesure. Pour des distances supérieures ou inférieures, le croisement est seulement partiel, et la détermination du diamètre de la cible peut s'en trouver légèrement altéré. On notera toutefois que ces nouvelles techniques de matérialisation de la taille du spot ont nettement améliorées les performances des thermomètres sans contact.

Commutation sur les mesures à courtes distances

En complément des applications classiques de la maintenance électrique et du contrôle-qualité industriel qui induisent des distances de visée comprises entre 0,75 et 2,5 mètres, il est souvent nécessaire de mesurer des petites cibles, à des distances bien plus faibles. Pour répondre à ce besoin, des équipements ont été spécifiquement conçus. Ils rendent la mise au point effective et autorisent les mesures dont le diamètre est inférieur à 1mm. Notons bien que cet objectif reste une tâche difficile et qu'il n'est pas aisé de mesurer par voie optique la température d'une très petite cible.

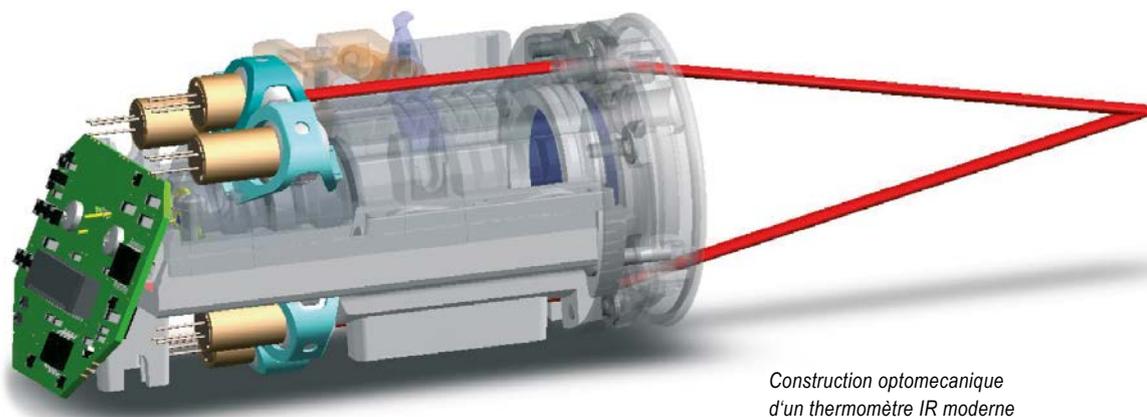
Les produits récents incluent une technologie avec des optiques à deux lentilles, comme les caméras numériques. La position de la lentille interne peut être mécaniquement asservie à la focale pour les mesures sur les très petites cibles. Le résultat est un très petit diamètre de cible mais pour une distance de visée fixe.

Si la distance entre le point de mesure et le pyromètre change, en augmentant ou en diminuant, le diamètre de cible visé augmentera dans les deux cas de figure.

En utilisant deux faisceaux lasers croisés, dont l'intersection est précisément au lieu du plus petit diamètre visé possible, et qui ensuite divergent pour former un cercle de diamètre inscrit, il est possible de trouver la distance de visée optimale et la dimension du spot de mesure.

La figure à gauche montre le système optique d'un thermomètre infrarouge de construction récente.

La position de la lentille est ajustable, et plusieurs faisceaux lasers croisés permettent un affichage précis du diamètre de la source analysée par ce thermomètre. Rappelons qu'il est nécessaire en monochromatique ou en bande large de remplir intégralement ce champ optique avec la source visée.



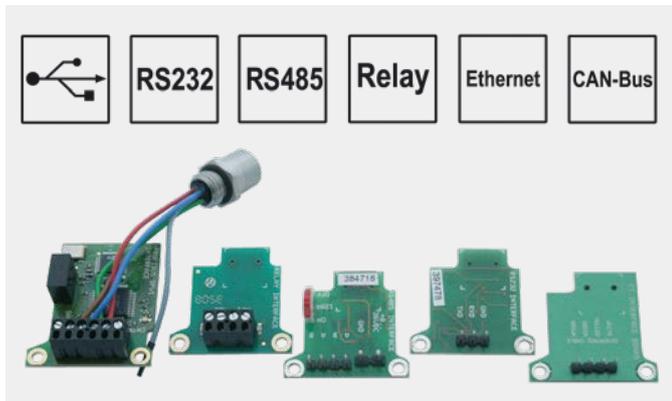
Construction optomecanique d'un thermomètre IR moderne

Optiques, techniques de visée, électroniques

Electronique

Affichages, sorties et interfaces

L'électronique d'un thermomètre infrarouge linéarise le signal de sortie du détecteur pour délivrer un courant linéarisé 0/4 – 20 mA ou une tension 0 – 10 V. Un portable donnera un affichage de la température mesurée sur un écran LCD. En option, certains appareils portables peuvent aussi délivrer un signal analogique voire numérique pour exploitation de ces températures mesurées.



Sorties analogiques et interfaces numériques modules à connecter.

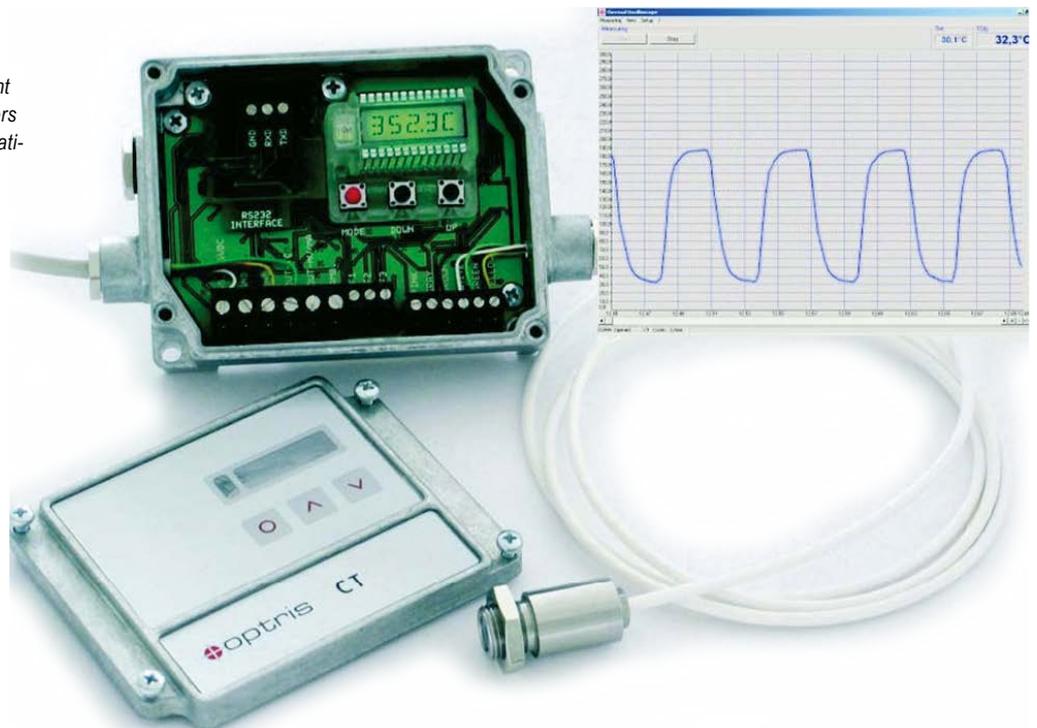
Interfacage numérique des thermomètres infrarouges en ligne

Les bus de terrain industriels prennent une importance croissante dans les usines. Ils offrent plus de capacités de transfert de données, et réduisent le câblage. Si des changements sont effectués, en cours de production, les paramètres du capteur (émissivité, plage de mesure ou des valeurs limites) peuvent être, en conséquence, ajustés à distance.

Un contrôle continu du procédé et de sa régulation sont ainsi garantis même dans des environnements hostiles avec un minimum de facteur humain. Lorsqu'un défaut apparaît comme une rupture de câble ou un composant en surchauffe, alors un message d'erreur apparaît automatiquement sur le pyromètre.

Un autre avantage de la communication numérique sur un thermomètre infrarouge, c'est la possibilité de réaliser un étalonnage de cet appareil en utilisant le logiciel dédié du fabricant de ce thermomètre.

Les interfaces des thermomètres IR permettent une connexion directe sur ordinateur. Au travers d'un logiciel, il est aisé de modifier la configuration, de tracer des courbes.



Thermomètres infrarouges et leurs applications

La mesure des températures sans contact à l'aide de thermomètres sans contact est une méthode éprouvée de contrôle, surveillance et régulation pour de nombreux procédés industriels et pour assurer la maintenance préventive de machines ou d'équipements. Les matériels portables comme les thermomètres IR "online" ou à poste fixe sont considérés comme des instruments de mesure de point (spot de mesure), et doivent être sélectionnés en fonction de l'application.

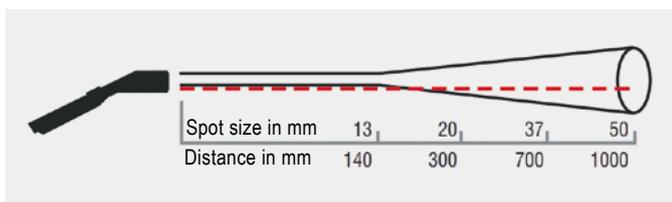


Thermomètre infrarouge portable

Les thermomètres infrarouges portables sont généralement utilisés pour vérifier rapidement et facilement des pièces critiques. Des usages typiques sont: l'inspection des installations électriques en maintenance préventive et curative, la surveillance de points chauds sur les machines tournantes, le diagnostic des installations de chauffage, de la ventilation, des systèmes de conditionnement d'air, la recherche d'anomalies sur un véhicule automobile.

Les thermomètres infrarouges sont aussi destinés aux applications où les conditions d'exploitation sont très rudes. Ils peuvent être utilisés en intérieur comme en extérieur, par temps sec ou sous la pluie, et pour des conditions de température ambiante critiques. La gamme opris® MS est non seulement portable et légère, mais aussi robuste et facile à utiliser. Que vous la mainteniez dans votre poche de veste, à votre ceinture ou dans sa sacoche de transport, c'est bien entendu le meilleur choix pour vos multiples inspections.

Des températures allant de -32 à 530 °C peuvent être mesurées avec une précision de $\pm 1\%$ ou ± 1 °C en moins de 0,3 secondes. Le laser indique la localisation de l'objet et



Ratio distance / diamètre du spot (D:S) 20:1

en seulement un clic, la température est affichée avec une résolution de 0,1 °C. L'activation d'un signal d'alarme pour les valeurs maximales et minimales permet une inspection systématique de l'objet mesuré complétée par l'affichage instantané du point le plus chaud. Le niveau d'optique de cette gamme autorise la mesure de petites cibles. Si l'objet mesuré peut être approché à une distance de 14 cm, alors le diamètre de cible n'est plus que de 13 mm. Cette valeur augmente avec la distance de visée. Pour une distance (D) de 1 mètre, vous pouvez prendre la température d'une surface (S) de 50 mm de diamètre : la résolution optique D:S est 20:1.

1. Applications typiques en maintenance et services

L'état de disjoncteurs défectueux, fusibles, moteurs et connexions électriques est difficilement détectable à l'œil nu. Il est par ailleurs bien connu que la plupart des installations qui consomment de l'électricité ou dont la mécanique dérive, génèrent un échauffement avant de tomber en panne. De ce fait, la mesure des températures sans contact est une démarche importante en maintenance préventive afin de garantir le fonctionnement et la sécurité des installations.

La gamme des thermomètres portables opris® LS constitue un outil précis pour des mesures rapides de routine quotidienne. Le diamètre minimum de cible est de 1 mm et sa technologie de laser croisés permet aussi de mesure à grande distance.

- Mesure de température sur des cibles peu accessibles, sur des machines en mouvement, sur installation en zones dangereuses ou des raccordements électriques
- Détection de défauts de serrage des connexions
- Localisation de défauts cachés sur des câbles électriques
- Inspection des fusibles et des coupe circuits
- Monitoring des équipements faibles et moyennes tensions
- Détection de surcharge de phase et distribution d'énergie non-équilibrée
- Contrôle des transformateurs et autres composants



Portables infrarouges Opris

Thermomètres infrarouges et applications

Mesure de température des contacts

Pendant le transfert de puissance, les contacts présentent souvent des déséquilibres de charge, ou des surchauffes ce qui peut constituer une grave source d'incendie. Des vibrations ou des mouvements transmis à l'intérieur des armoires électriques conduisent à des pertes de contact, des desserrages de câbles. Les variations ou cycles thermiques des composants accroissent leurs résistances électriques provoquant consommation plus élevée et génération de chaleur.



Inspection détaillée d'une armoire électrique avec un optris LS, incluant un spot de 1 mm.

Les poussières et les phénomènes de corrosion peuvent aussi provoquer une élévation de résistance. En comparant les écarts de température entre les contacts chargés à pleine puissance, et la température ambiante, il est possible de tirer des conclusions sur les conditions d'exploitation, saines ou critiques. Ainsi une différence de 10K est souvent la preuve d'une mauvaise connexion; 30 K est plutôt relatif à un état critique.

Surveillance des transformateurs

Les transformateurs présentent une température maximale de fonctionnement, indiquée normalement par leurs fabricants. Si une surchauffe est détectée pendant la mesure du transformateur, c'est la preuve d'un mauvais fonctionnement. Cette température élevée est due à l'enroulement lui-même ou encore à une surcharge indéterminée de l'une des phases de ce système électrique.

Localisation de câbles défectueux

Les défauts "cachés" dans les câbles peuvent être rapidement détectés par un balayage géométrique à l'aide d'un thermomètre infrarouge. Des températures anormalement élevées provoquent une surconsommation énergétique. Ces constatations faites, peuvent être dues à des ruptures, des effets de la corrosion, un vieillissement des conducteurs électriques.

2. Applications courantes dans les métiers du chauffage, de la ventilation et des systèmes de conditionnement d'air

Des pièces trop ventilées ou une mauvaise climatisation sont souvent la conséquence de systèmes de conditionnement d'air défectueux ou peu stables dans le temps. Le responsable HVAC est chargé de localiser la source du problème dans un temps très court et de remédier efficacement au dysfonctionnement de ces installations de climatisation des locaux. Selon la méthode employée, ce travail nécessitait dans le passé beaucoup de temps et une quantité de travail importante. L'ingénieur devait souvent réaliser des perçages dans les canalisations d'air pour détecter les zones du système en défaut, attendre la stabilisation de ses thermomètres d'immersion après insertion dans les flux d'air, chaud ou froid, et relever de manière systématique les températures ainsi déterminées.



Inspection des circuits de chauffe

L'apport des thermomètres infrarouges dans ce secteur est considérable car il n'est plus besoin d'aucun perçage des conduites. La température de surface des différents canaux de chauffage/refroidissement est mesurée avec la précision nécessaire au process et à des distances de sécurité suffisantes pour la sécurité des personnels en charge de ces contrôles. Ces nouvelles procédures sont rapides et pertinentes dans ce secteur de la climatisation des locaux industriels ou tertiaires. Echelles ou escabeaux ne sont plus nécessaires. Les ingénieurs HVAC ont besoin de d'outils de mesure pertinents, fiables et reproductibles, faits pour durer et faciles à mettre en œuvre.

Les apports techniques optris® LS LT:

- Détection d'isolations défectueuses
- Détection de coupures dans les planchers chauffants
- Contrôle des brûleurs des chaudières à gaz ou à fuel
- Contrôle des échangeurs de chaleur, circuits de chauffage et distributeurs thermiques
- Détection des coupures de circuits de conditionnement
- Contrôle des bouches d'air et des vannes de sécurité
- Régulation des thermostats et systèmes de climatisation

Inspection des canalisations d'air

Les joints dans les systèmes de conditionnement d'air sont souvent la cause de problèmes. Ils peuvent devenir défectueux du fait des vibrations sur le circuit ou encore par la dilatation ou contraction des conduites elles-mêmes. Ces ruptures d'étanchéité provoquent des dérives du conditionnement d'air prévu, altèrent ses propriétés, et jouent sur son efficacité dans le temps. Sa durabilité en est affectée. Des contrôles fréquents des durites et conduits divers avec un thermomètre infrarouge autorisent la détection de défauts tels que ruptures, criques et fêlures ou encore défaut d'isolation.

Contrôles des bouches d'aération et d'extraction

Des différences de température entre arrivée et sortie d'air indiquent des dysfonctionnements. 10 à 12 K sont les valeurs normales dans un processus de refroidissement. Des valeurs supérieures à 12 K indiquent que le flux d'air est trop lent et par conséquent que le liquide de refroidissement est trop froid. Si les valeurs chutent sous 10 K, elles indiquent une détérioration des circuits, qui dégradent la bonne circulation des fluides de refroidissement. Les variations de température du chauffage doivent être dans la plage de 15 à 40 K. Si les températures montrent des écarts avec cette plage standard, des filtres encrassés ou une dégradation de l'échangeur de chaleur sont les causes les plus courantes.

Inspection des brûleurs

L'inspection des brûleurs de chaudières à gaz ou à fuel peut aussi être réalisée avec des thermomètres sans contact. Ces mesures donnent les informations qui permettent de détecter la source des troubles. Encrassement, calaminage, dégradent le fonctionnement des brûleurs.

3. Applications courantes pour l'automobile

Localiser et éliminer les sources de troubles aussi vite que possible est la clef du succès dans l'inspection des véhicules et permet d'assurer la pérennité des performances. La liste ci-dessous donne les exemples les plus fréquents de l'utilisation de thermomètres infrarouges dans l'automobile:

- Dysfonctionnements moteur,
- Surchauffe des convertisseurs catalytiques,
- Système d'injection fuel,
- Système de conditionnement d'air,
- Système de refroidissement,
- Système de freinage

Tests fonctionnels des freins et des pneumatiques

Pour déterminer les causes de pertes de performances du système de freinage, l'automobile est testée sur une route adéquate et le freinage mis en oeuvre. La température des tambours ou des disques de freins est instantanément affichée : elle autorise la localisation des défauts ; étriers ou pistons du système de freinage.

Inspection du système de chauffage

Vérifier la température du liquide de refroidissement en partie supérieure quand le moteur est chaud. Si la température descend durablement en dessous de 95 °C, le thermostat ne se ferme probablement pas. Ensuite mesurer les températures entrée et sortie du radiateur. Un écart de 20 K est normal. Si la sortie est froide; cela indique qu'il n'y pas de réfrigérant en circulation. Le radiateur est à changer ou son système de contrôle.

Diagnostic du système de refroidissement

Le moteur chauffe anormalement, mais l'origine du défaut n'a pu être détectée. Quelques raisons possibles : un radiateur dégradé, un capteur ventilateur en erreur, un thermostat défectueux, un rotor en panne de la pompe de refroidissement. Le refroidisseur, le détecteur du liquide et le convertisseur catalytique ont déjà été inspectés à l'aide du thermomètre laser. Pour contrôler le thermostat, mettre le moteur en chauffe au ralenti. Puis mesurer la température de la section supérieure du tuyau de refroidissement et de l'enveloppe extérieure du thermostat. Dès que le moteur atteint une température de 80 à 105 °C, le thermostat doit ouvrir et l'élévation correspondante de la température doit s'afficher sur la partie supérieure du tuyau de refroidissement. Si cette valeur reste inchangée, le liquide de refroidissement est bloqué, n'arrive pas à l'endroit prévu : le thermostat est identifié comme source du problème.



Inspection du système de chauffage

Avantages des thermomètres infrarouges:

- Facile à mettre en oeuvre
- Mesures sans contact et précises en quelques secondes
- Permettent des inspections en toute sécurité sur des composants chauds ou des objets en zones dangereuses
- Localisent les sources de problèmes sans modification ou échange de composants
- Détection de points sensibles avant urgence : maintenance préventive
- Gain conséquent de temps et d'argent

Thermomètres infrarouges et leurs applications

Les thermomètres infrarouges en ligne

Les thermomètres infrarouges à poste fixe (ou pyromètres) sont souvent utilisés à des fins de contrôle qualité sur les lignes de production. La première étape d'utilisation est l'affichage des mesures, puis vient la phase d'intégration dans la conduite du procédé. Les possibilités multiples de la mesure de température infrarouge permettent de dresser ci-après un inventaire non exhaustif des applications les plus usuelles en industrie, et de donner aussi quelques exemples d'applications OEM ; des solutions dédiées ont alors été mises en œuvre pour à leurs besoins de ces partenaires.

Il y a plusieurs applications:



Métallurgie



Production plastique



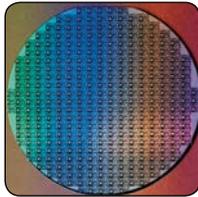
Papeterie cartonnerie



Verrerie



Procédés laser



Composants électroniques / wafer



Industrie automobile



Medical



Alimentaire

1. Chauffage par induction - traitements thermiques chauffeuse



optris® CTlaser 1M/2M/3M utilisés pour le contrôle de la trempe

Les traitements thermiques ont toujours pris une part significative dans la métallurgie. Des propriétés comme la résistance à la corrosion, la dureté magnétique, la ductilité, la rugosité et les caractéristiques mécaniques sont souvent directement liées à l'efficacité des traitements thermiques appliqués aux métaux. Le chauffage par induction est un procédé couramment utilisé pour ces traitements thermiques. Les pièces à traiter sont soumises aux effets d'un champ électromagnétique intense qui les chauffent instantanément, avant qu'elle ne subissent un refroidissement adapté.

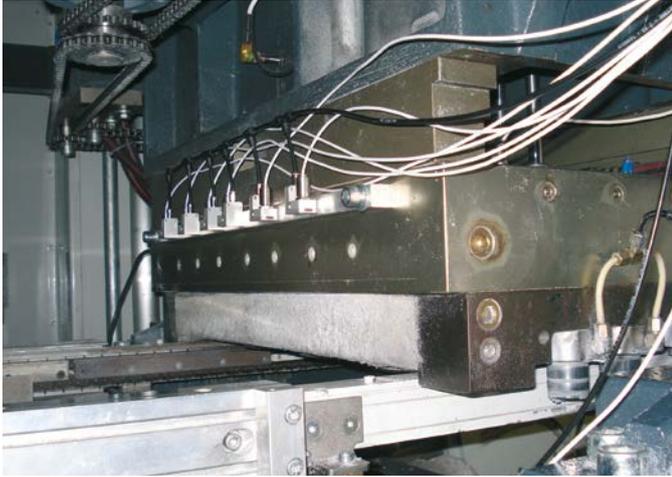
En contrôlant la fréquence, il est possible d'ajuster localement la pénétration de la chaleur, et d'obtenir un chauffage précis et dédié de chacune des parties de la pièce métallique traitée. La microstructure souhaitée du métal dépend précisément de la durée d'application de la température adéquate du process. Il est donc fondamental de réguler en permanence et donc de disposer en continu de la mesure de température.

Du fait de la présence d'un champ électromagnétique intense, les thermomètres sans contact optris® CTlaser 1M, 2M and 3M sont idéaux pour cette application, puisque le système électronique est distant de la tête de mesure et ainsi protégé des radiations électromagnétiques.



optris® CTlaser

2. Thermoformage



Tête de taille mini d'un pyromètre CT LT équipée d'un soufflage d'air laminaire, installée sur une thermoformeuse

Les machines de transformation des matières plastiques permettent à présent une large variété de produits techniques aux dimensions, épaisseurs, textures, couleurs et propriétés bien différentes.

La fabrication d'une telle diversité de produits finis est sujette à de nombreux traitements thermiques. Lorsque les points critiques du process sont identifiés, alors les thermomètres infrarouges sont utilisés pour la mesure et le contrôle continu des températures.

Un important champ d'applications concerne l'installation de ces pyromètres sur des lignes de thermoformage. Le produit de base à transformer (feuilles ou bobines) va être réchauffé par des radiants infrarouges. Ceux-ci doivent apporter une uniformité de chauffe sur l'ensemble de la surface à thermoformer. Cette homogénéité ainsi que le respect de la consigne température sont indispensables à l'obtention d'un bon résultat. Les thermomètres optris® CT sont couramment utilisés sur ces lignes de fabrication. Ils sont placés en sortie de chauffe afin de vérifier le profil thermique permettant ainsi de mettre en évidence des gradients des ou écarts. C'est le contrôle indirect des radiants et de leur régulation.



optris® CT LT

3. Production papetière et procédés d'encollage



Mesure de température infrarouge en papeterie, cartonnerie.

Les capacités de production à haute vitesse du papier d'imprimerie sont le fait de lignes de fabrication ultramodernes qui nécessitent le contrôle rapide et reproductible des températures du papier en cours d'élaboration. Un laminage précis et sans distorsion est seulement possible lorsque les conditions de température calculées idéalement sont respectées. Les températures réelles du procédé peuvent être surveillées, voire corrigées, pour chacun des composants du process global, en temps réel.

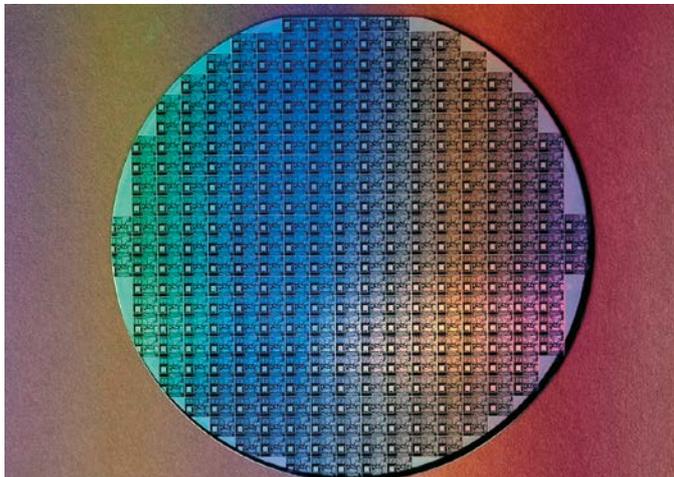
L'utilisation des détecteurs de température miniaturisés développés par Optris pour mesurer et réguler les températures tout au long du process papetier, sur les rouleaux, ou sur le dispositif rotatif d'encollage des feuilles, conduisent à un haut degré d'uniformité du laminage. Le soufflage d'air continu sur l'optique et dans le champ optique rend ces équipements pratiquement exemptés de toute maintenance. L'installation de thermomètres sans contact en différents points critiques du procédé, permet par exemple, une surveillance et une correction éventuelle de l'application de colle.



optris® CSmicro

Thermomètres infrarouges et leurs applications

4. Composants électroniques - tests fonctionnels conception - recherche et développement - semi-conducteurs-epithaxie



Mesure de temperature infrarouge sur des wafers

Un nombre croissant de fabricants de composants électroniques et de PCBs ont recours à la thermométrie infrarouge. L'objet est de surveiller d'abord et de réguler ensuite, le comportement thermique de leurs productions (qui ne peut être contaminée).

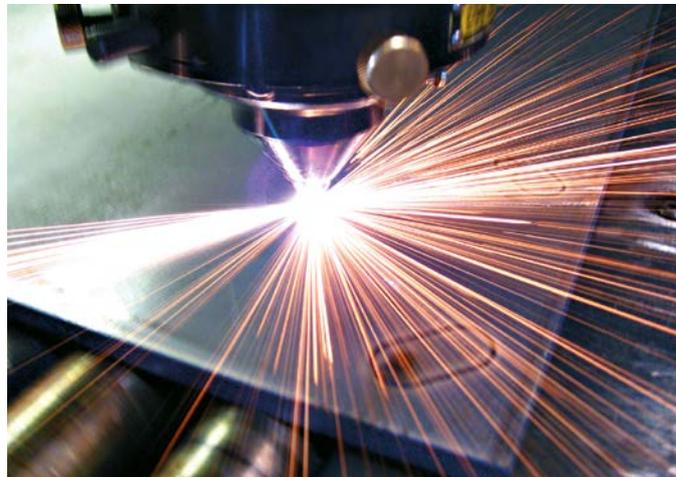
Les caméras thermiques offrent l'intérêt d'une multitude de points mesures (milliers de pixels). Elles permettent donc une mesure multiple détaillée, en temps réel, de la réaction thermique des circuits électroniques, mais aussi de faire des vidéos radiométriques pour une analyse ultérieure-typiquement, la dissipation thermique de circuits.

Le nombre toujours croissant de tests et d'étalonnage de la production grande série peuvent rendre difficile, l'exploitation de plusieurs caméras thermiques sur une même ligne de production. Dans ce cas, l'optris® CT, détecteur infrarouge miniaturisé peut être utilement installé pour le suivi et la régulation de points de mesure bien définis, tels que des composants spécifiques ou des points de soudure. Les plus petits spots de mesure sont de diamètre 0,6 mm.



optris® CT avec boîtier électronique

5. Procédés laser découpe, soudure, traitement thermique, coating, gravage



Mesure continu sur une ligne de soudage

La découpe ainsi que la soudure au moyen de laser constituent des technologies très pertinentes en terme de précision, de gain de temps et d'argent. Cette technologie relativement récente est en fort développement en Europe. Ces divers procédés tirent avantage de la précision du laser et de la haute densité d'énergie. Dans le même temps, des exigences de précision de plus en plus haute sur la température des surfaces soudées ou découpées ainsi que des temps de réponse de plus en plus courts nécessitent des équipements de contrôle de très haute qualité permettant la correction instantanée de tout écart.

La précision recherchée peut être parasitée par un phénomène de dilatation du matériau traité. Celle-ci est, en règle générale, liée à une élévation de la température, d'où la nécessité de contrôle par un pyromètre pour une mesure ponctuelle ou mieux par une caméra infrarouge. Celle-ci produit une vue globale du phénomène de diffusion thermique, donc de son analyse et de sa correction.

Il est également important de préciser la longueur d'onde sur laquelle travaille le laser. Il est en effet impératif qu'il n'y ait pas interférence avec la longueur d'onde choisie pour la mesure. A cet effet les caméras ir ou les pyromètres sont équipés de filtres spécifiques. Ils sont calibrés spécialement.

Optris disposent d'une offre large de caméras thermiques et de pyromètres répondant à ce facteur critique. De plus le temps de réponse très court permet de:

- Ajuster et démarrer rapidement les installations après un changement de lot, réduction du temps mort et tests des matériaux
- Surveiller et enregistrer la production par lots (batch)
- Garantir une qualité du process haute et consistante

Caméras thermiques et leurs applications

Le cœur de la plupart des systèmes de thermographie utilisés à ce jour réside en une matrice à plan focal (focal plane array ou FPA). C'est un ensemble de détecteurs unitaires disposés en lignes et colonnes. Les détecteurs les plus courants contiennent de 20,000 à 1 million pixels. Chaque pixel est un micro bolomètre dont les dimensions vont de $17 \times 17 \mu\text{m}^2$ jusqu'à $35 \times 35 \mu\text{m}^2$ et de 150 nm d'épaisseur. En moins de 10 ms, ces détecteurs sont chauffés, par les radiations thermiques, d'environ un cinquième de la différence de température entre la cible et la chip. Cette sensibilité extrêmement haute s'appuie sur une forte isolation thermique. L'absorption surfacique du récepteur semi-transparent est améliorée par une auto interférence des vagues de lumière. [3]

Pour exploiter cette auto interférence, la surface du micro bolomètre (en oxyde de vanadium ou en silicium amorphe) doit être positionnée à une distance d'environ $2 \mu\text{m}$ du circuit de lecture. La détectivité de ce type de FPA atteint des valeurs de $10^9 \text{ cm Hz}^{1/2}/\text{W}$. C'est largement supérieur à ce que l'on peut obtenir pour n'importe quel détecteur thermique, typiquement utilisé dans les pyromètres.

Les variations de la température intrinsèque des bolomètres font varier sa résistance, qui est transformée en tension électrique. Un convertisseur A/D 14 bit rapide digitalise le signal préamplifié et « sérialise » le signal vidéo. Un processeur calcule une valeur de température pour chaque pixel et génère les images en couleurs correspondantes en temps réel.

Les caméras infrarouges nécessitent une calibration relativement complexe, dans lequel une valeur de sensibilité est allouée à chaque pixel, prenant en compte différentes températures de chips et de corps noirs. Pour améliorer la

précision de mesure, les FPA sont stabilisées très précisément en température.

Du fait du développement des équipements informatiques, encombrement réduit, moindre poids, plus de performances pour les laptops, UMPCs, netbooks et tablettes PC aux prix décroissants, il est désormais possible de disposer de

- Grands affichages pour des présentations IR attractives,
- Batteries Li-Ion rechargeables optimisées pour alimentation,
- Capacité de calcul pour affichage en temps réel,
- Mémoires de grande capacité pour stockage illimité ou presque des vidéos radiométriques infrarouges
- Ethernet, Bluetooth, WLAN et différentes interfaces software pour une meilleure intégration des systèmes de thermographie dans leur environnement applicatif.

Le standard USB 2.0 d'interface est largement disponible et permet les transmissions suivantes

- Image 320×340 pixel à 30 Hz
- Images de 20.000 pixel à 120 Hz.

La technologie USB 3.0 convient à la transmission d'images thermiques XGA à 100 Hz. L'utilisation du principe webcam dans le champ de la thermographie permet à ce jour, le développement de produits entièrement nouveaux dotés d'un rapport performances/prix tout à fait étonnant.

Ainsi, une caméra infrarouge est connectée via une interface 480 MegaBaud temps réel avec un ordinateur sous Windows®, qui fournit simultanément l'alimentation nécessaire au process.



Caméra infrarouge USB offrant des images dont la résolution a jusqu'à 640×480 pixels avec des fréquences jusqu'à 1000 Hz

Hardware des caméras infrarouges USB

L'USB était précédemment perçue comme un support bureautique. Contrairement à FireWire, le très large usage de cette interface si courante a généré un très grand nombre de développements conduisant à une pénétration forte dans le milieu industriel; ainsi sont arrivées les caméras thermiques USB.

Innovations industrielles typiques :

- Chemin de câble articulé et câble USB de 10 m résistant jusqu'à 200 °C [4]
- Câble d'extension cat 6 (Ethernet) jusqu'à 100 m et système d'alimentation en ligne POE
- Modules USB / fibre optique pour des extension jusqu'à 10 km [5]

Grace à la large bande passante du bus USB, il est possible par exemple de raccorder 6 caméras, 120 Hz distantes de 100 m, sur un ordinateur, via un HUB.

L'étanchéité, la résistance aux chocs, le domaine nominal d'emploi positionnent ces caméras en Nema 4, et autorisent leur usage dans de nombreux essais. Le volume typique < 100 cm³ (4 x 5 x 4) et une masse de 200 g permet de réduire significativement les efforts liés à la dissipation thermique et à l'implémentation de soufflage d'air.

Au regard de la dérive thermique des bolomètres et du traitement intégré du signal, toutes les caméras thermiques IR nécessitent une correction d'offset à intervalles réguliers. C'est ainsi qu'un obturateur en métal noir se positionne régulièrement devant le détecteur permettant un référencement thermique uniforme de tous les pixels.

La plupart du temps la gestion de l'obturateur est automatique. Pendant cette correction d'offset, la caméra thermique devient aveugle. Dans le cadre de procédés particuliers nécessitant une gestion précise des images radiométriques,

il est possible de contrôler via une entrée externe le déclenchement de cet obturateur. Le temps moyen d'une correction d'offset a été optimisé en particulier par Optris à 250 msec. C'est globalement comparable au temps d'un clin d'œil.

Dans les cas de détection de points chauds d'un chargement sur convoyeur, donc en défilement continu, il peut être délicat de perdre quelques images. Il est alors possible de travailler sans activer l'obturateur. Les images (et les mesures associées) sont considérées comme relatives et peuvent être grâce au logiciel fourni, comparées à des images de référence. Un déclenchement d'alarme pourra être décidé en cas de variations supérieures au seuil fixé.



Pour permettre de corriger l'offset, des bolomètres, le champ de visée complet de la caméra est brièvement obturé

Autre cas d'application où le contrôle de l'obturateur est critique, l'usage de laser pour traiter la cible mesurée. Pour ne pas brûler par réflexion le détecteur, il est nécessaire d'activer l'obturateur. Il est aussi possible d'équiper la caméra de filtres spécifiques.

Principaux champs d'application:

- Analyse dynamique de procédés générant des variations thermiques,
- Outils auxiliaires pour appréhender la dynamique thermique en recherches et développements et localisation des échauffements
- Usage occasionnel en couplage avec une tablette pour la maintenance électrique et mécanique des sites industriels.



Caméras thermiques et leurs applications

Les avantages de l'acquisition et enregistrement vidéo (ravi) 120 Hz ont été vite établis pour les applications de R&D. Les procédés thermiques qui ont été enregistrés pendant un laps de temps court, peuvent être ensuite analysés à des vitesses bien plus lentes. Ceci autorise l'extraction de séquences individuelles, d'images spécifiques, tout en conservant la résolution géométrique et la richesse métrologique de la vidéo radiométrique mère. Des optiques interchangeables, (incluant une solution microscope), permettent d'adapter la caméra thermique aux applications les plus diverses. Les possibilités sont larges; une version 9° autorise des mesures à grande distance, tout en conservant la qualité métrologique; une solution dite microscope permet de mesurer des cibles de

4 x 3 mm² avec une résolution géométrique de 25 x 25 µm².

Une isolation galvanique du signal de sortie en tension est nécessaire pour l'interfaçage de la caméra IR avec le système de contrôle commande pilotant le procédé. D'autres entrées / sorties permet un référencement continu d'une zone de mesure, de déclencher une vidéo ou une image, de gérer des dépassement de seuils, d'associer une mesure secondaire (éventuellement différente de la température, pression, position...).

Spécifications du logiciel d'analyse

Aucune installation de driver spécifique n'est nécessaire puisque les caméras infrarouges Optris USB utilisent le standard USB vidéo class et que le driver HID intègre Windows XP et les versions supérieures. Pour chaque pixel unitaire, la correction « temps réel » des données vidéo et le calcul de la température sont effectuées directement sur PC. La qualité impressionnante de l'image dès la résolution de 20.000 pixels est rendue possible par l'usage d'algorithmes et de logiciels puissants travaillant au format VGA.

L'interface utilisateur du logiciel est caractérisée par de hauts niveaux de flexibilité et de portabilité. En addition aux fonctions classiques, ce logiciel présente aussi des fonctions plus sophistiquées:

- Fonctions d'export des données numériques et des images vidéos radiométriques pour compléter les rapports d'essais et les analyses hors-site
- Palettes de couleurs librement mixables avec des isothermes
- Affichage des profils positionnable à la demande
- Nombre infini de zones de mesures avec fonctions alarmes rattachées
- Affichage comparatif de vidéos avec des images de référence, graphes température/ temps pour différentes zones d'intérêt

Le logiciel permet la création de « layout/ pre-configuration », qui sauvegarde et enregistre différents modes de présentation. Les vidéos réalisées sont au format RAVI, c'est-à-dire Radiométrique. AVI. Le format RAVI signifie que chaque pixel de la vidéo est renseigné en température, ce qui permet des lectures ultérieures avec des paramétrages différents. Les modes d'enregistrement vidéo permettent aussi l'enregistrement des phénomènes thermiques lents. Il est possible, par exemple, de n'enregistrer qu'une image par seconde, ou même de n'enregistrer que toutes les 100 secondes une image ne comprenant que les pixels les plus chauds pendant ce laps de temps. Un mode lecture rapide à disposition.

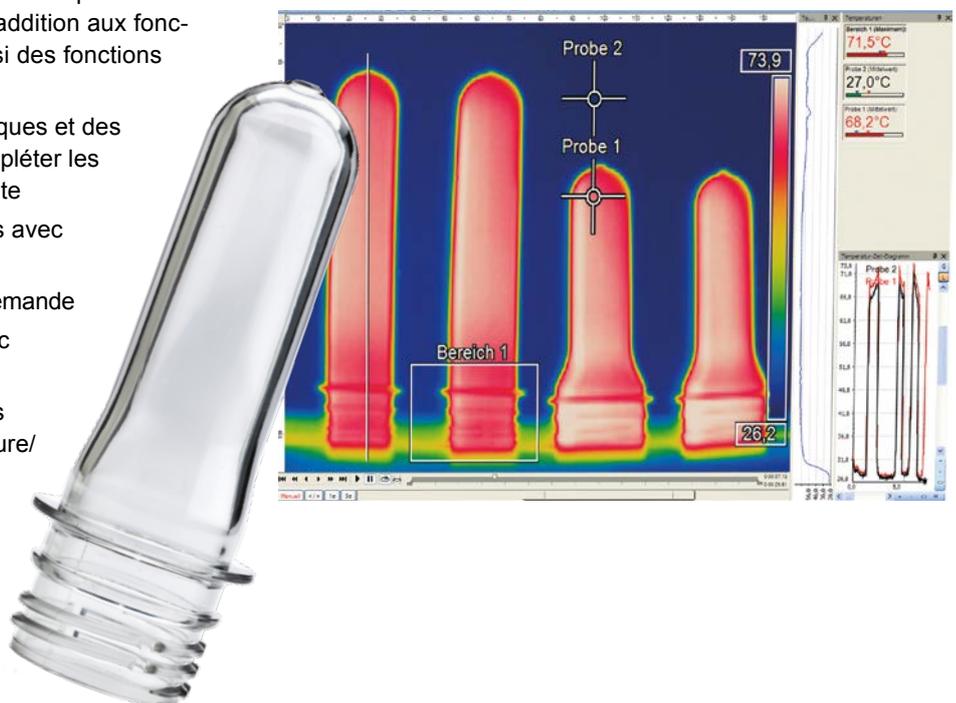
Le transfert des données temps réel vers un autre logiciel est rendu possible par l'utilisation des DLL (Digital Link Library). A cet effet est fourni un SDK (software development Kit). Toutes les autres fonctionnalités de la caméra peuvent être contrôlées via cette interface DLL. En alternative, le logiciel peut aussi communiquer via un port série et par exemple, être directement connecté à une RS422 interface (liaison avec un automate).

Applications

Dans le chapitre suivant, les applications usuelles de la thermographie sur le terrain avec les modèles à connexion USB sont détaillées.

1. Optimisation des process de fabrication

La production de pièces plastiques comme les bouteilles en PET nécessite un gradient de montée en température parfait des préformes afin de garantir une épaisseur de matière

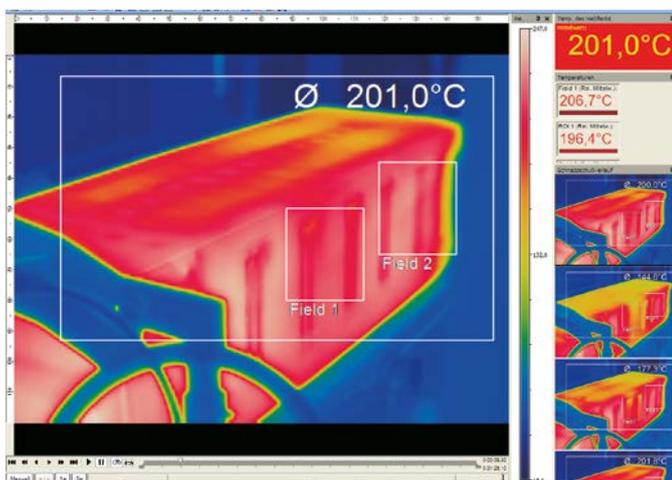


constante aux bouteilles, lors de l'opération d'extrusion-soufflage. Les tests de mise au point sont effectués avec peu d'échantillons de préformes d'épaisseur 20 mm à pleine vitesse de travail, soit 1 m/s.

Pour mesurer le profil de température de la préforme, la vidéo doit être réalisée à 120 Hz. En effet seule une telle fréquence permet d'éviter l'obtention d'images floutées.

La caméra thermique est positionnée de telle sorte qu'elle suive le mouvement de la source avec un angle de visée oblique – similaire à celui d'observation du dernier wagon d'une rame de train en roulage. La séquence vidéo IR obtenue délivre un profil des températures qui est essentiel pour le réglage des paramètres de chauffe.

Pendant le formage sous vide de pièces de plastiques techniques, cas des réfrigérateurs par exemple, la prise d'enregistrement vidéo IR permet la vérification instantanée de l'efficacité du refroidissement dans les différentes parties constitutives de la pièce formée. Des vitesses de refroidissement différentes créent des faiblesses dans le matériau. Par extension, l'optimisation des vitesses de refroidissement évitent les effets de mémoire du plastique. Ces effets conduisent basiquement à des changements de forme après un nombre de cycles de sollicitation de la pièce. De la même façon qu'un oscilloscope peut assurer l'analyse de signaux électroniques, la caméra vidéo IR est un outils pertinent de qualification des procédés thermodynamiques.



Exemple d'analyse avec génération automatique d'images / snapshots

2. H1N1 inspection de la fièvre des voyageurs



Surveillance de la température de surface de la peau des voyageurs

Ebola et la propagation de plusieurs virus très dangereux ont créé une demande globale très forte pour des techniques fiables et non intrusives de détection de l'état fébrile potentiel des voyageurs. Une solution simple et efficace a été développée sur la base d'une caméra infrarouge installée à poste fixe. Les visages des passagers sont contrôlés en particulier au niveau de l'œil, exactement à la sortie des glandes lacrymales. C'est la mesure la plus proche d'un contrôle de température interne.

Bien que cette méthode ne garantisse pas parfaitement la mesure de température interne du passager, elle a produit des résultats probants, avec une reproductibilité des mesures acceptable et l'isolement de passagers suspectés de fièvre

Le standard de précision des caméras IR est seulement ± 2 °C essentiellement dû aux points suivants

- Stabilité du système de détection
- Qualité de l'imagerie due à l'optique, largement ouverte.

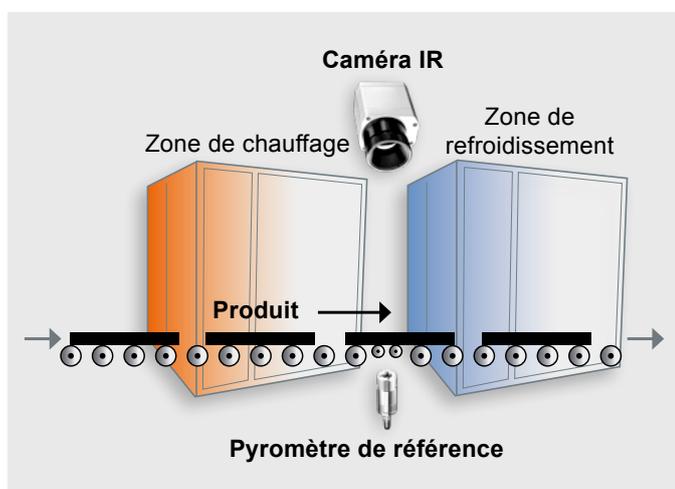
Pour les mesures dans le domaine médical, cette précision est insuffisante. Les caméras IR USB peuvent palier cette difficulté en utilisant dans le champ de visée une référence très précise. Ainsi des radiateurs de référence ont été mis au point. Ils ont une précision de mesure de 0,2 °C à 34 °C de température rayonnée. Ils sont positionnés à la même distance que le passager, et apparaissent en bord d'image. Ces radiateurs sont mesurés en continu avec une sonde IR certifiée, ayant une résolution thermique de 25 mK et spécifiquement étalonnée. La mesure obtenue est envoyée sur la caméra et affectée à la zone de mesure dans laquelle se trouve le radiateur de référence. La caméra va alors corriger la mesure faite sur cette zone et s'en servir pour corriger l'ensemble de l'image. L'image est ainsi calée sur un référentiel répondant aux tolérances médicales. Il est alors possible de détecter un passager rayonnant une température anormale. Une alarme indique alors aux opérateurs la nécessité d'un contrôle plus poussé.

Caméras thermiques et leurs applications

3. Caméra en mode scanner pour le contrôle de la trempe du verre plat

Après que le verre ait été découpé à la forme souhaitée, la surface doit être durcie (trempée). Cette opération a lieu après passage dans un four de traitement thermique chauffé aux environs de 600 °C. Un convoyeur assure le transfert du four à la section de refroidissement. Généralement la surface y est refroidie rapidement pour créer une structure cristalline renforcée, essentielle pour le verre de type « Securit ». Ces propriétés et spécialement l'indice de résistance à la rupture du verre sont directement liés au caractère uniforme des paliers de chauffage et de refroidissement du verre.

L'espace entre le four et la section de refroidissement est restreint et ne permet pas d'utiliser le champ de visée complet d'une caméra thermique installée au-dessus du convoyeur. L'opérateur a besoin de visualiser en une seule vue le volume qui vient de défilier. Il peut ainsi contrôler l'uniformité thermique recherchée. En utilisant le mode scanner, à partir de chaque image réalisée sont extraites des lignes (celles où le verre est dans le champ de visée). Le logiciel va assembler ces lignes et reconstituer en une seule vue le volume qui vient de défilier.

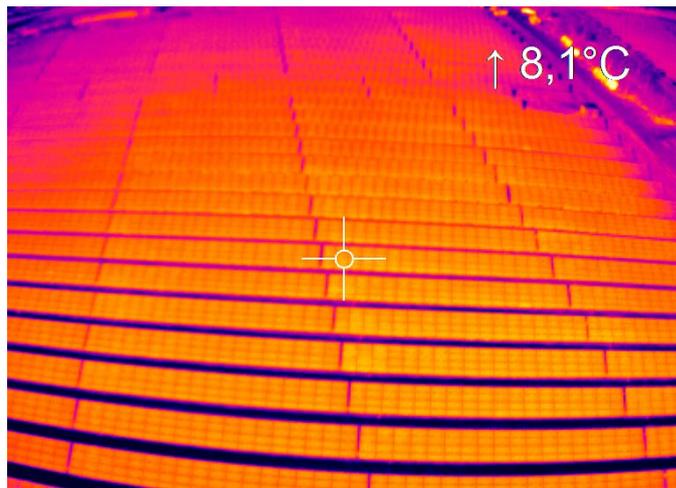


Installation d'une caméra en mode scanner avant trempe et utilisant un pyromètre de référence pour une mesure précise.

Il est recommandé d'utiliser une longueur d'onde spécifique pour cette application, le 7,9 μm qui offre la meilleure stabilité émissive pour ces températures. Pour les verres fortement réfléchissants (argentés, dorés) il est possible de pratiquer une mesure par-dessous ; la caméra est alors installée sous le convoyeur. Il est aussi possible d'utiliser le montage classique d'une caméra au-dessus de la ligne et de corriger la mesure en continu grâce à un pyromètre mesurant la face inférieure du verre.

4. La thermographie aérienne-drones

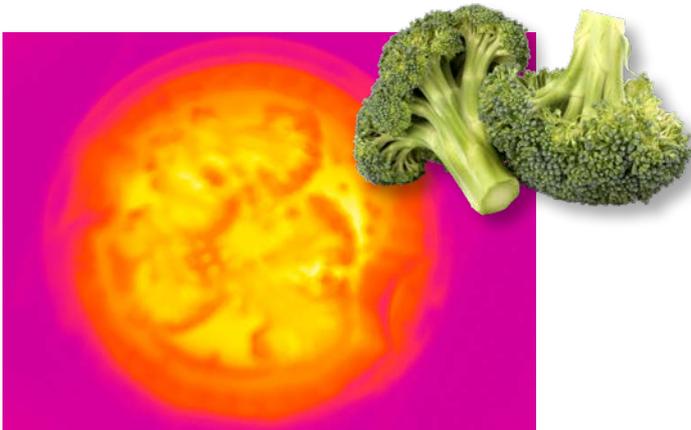
Le scope des applications est très étendu : contrôle et analyse thermique de bâtiments industriels et particuliers, surveillance des ouvrages d'art, maintenance des réseaux, recherche de personnes disparues, surveillance des régions sensibles aux incendies, assurance qualité et maintenance des systèmes photovoltaïques. Au titre d'exemple ce dernier cas est très intéressant. La productivité d'une ferme solaire doit être constante pour amortir les coûts d'acquisition élevés. Afin de garantir le rendement prévu de l'installation, les panneaux solaires défectueux et en particulier les connexions doivent être promptement réparés. Une caméra IR permet une mise en évidence immédiate des défauts.



Contrôle des panneaux solaires recherche de points chauds.

5. Mesures de températures en ligne pour le management des lignes de production en IAA (agro-alimentaire)

Le défi est de produire des aliments de type « ready-made », qui incorporent plusieurs ingrédients différents, et qui doivent conserver un goût agréable, malgré une préparation industrielle. Pour des raisons de santé publique, tous les ingrédients doivent être chauffés à 95 °C dans un four à vapeur. Si toutefois un four à vapeur était utilisé ici, les légumes tourneraient en purée avant la cuisson des viandes ou poissons.



Surveillance de la température pendant la cuisson de brocolis.

Le concept globalement unique de chauffage de Naprotec, une société basée à Zetel, utilise une spécificité du chauffage par micro-ondes. Il tire avantage du fait que chaque composant agroalimentaire a sa propre fréquence pour un chauffage ultra-rapide.

En accord avec le concept HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), le contrôle des températures de pasteurisation des plats « ready-made » qui sont conditionnés en barquettes scellées par une feuille PE, sont effectués par une caméra thermique de type optris® P1160.



Conclusions

En regard du très large champ d'applications, le nouveau concept de caméras thermiques USB constitue effectivement une innovation sur le marché de l'infrarouge. Il est maintenant possible d'utiliser une même caméra pour analyser un développement en la raccordant à un ordinateur de bureau puissant avec de grandes capacités de stockage et d'utiliser cette même caméra pour contrôler une installation électrique en la raccordant à une tablette.

En s'appuyant sur la puissance des ordinateurs toujours croissante, la technologie infrarouge USB garantit de disposer demain de plus de puissance de traitement. Elle autorise le développement constant des logiciels de traitement offrant toujours plus à ses utilisateurs.

Littérature

Référence

- [1] VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperaturmessungen – Spezifikation von Strahlungsthermometern, Juni 2001, VDI 3511 Blatt 4.1
- [2] VDI/ VDE Richtlinie Technische Temperaturmessungen, Strahlungsthermometrie – Kalibrierung von Strahlungsthermometern, 2004, VDI/ VDE 3511, Blatt 4.3
- [3] Trouilleau, C. et al.: High-performance uncooled amorphous silicon TEC less XGA IRFPA with 17 μm pixel-pitch; “Infrared technologies and applications XXXV”, Proc. SPIE 7298, 2009
- [4] Schmidgall, T.; Glänzend gelöst – Fehlerdetektion an spiegelnden Oberflächen mit USB2.0 – Industriekameras, A&D Kompendium 2007/2008, S. 219
- [5] Icron Technology Corp.; Options for Extending USB, White Paper, Burnaby; Canada, 2009

Littérature recommandé

1. VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperaturmessungen – Spezifikation von Strahlungsthermometern, Juni 2001, VDI 3511 Blatt 4.1
2. Stahl, Miosga: Grundlagen Infrarottechnik, 1980, Dr. Alfred Hütthig Verlag Heidelberg
3. Walther, Herrmann: Wissensspeicher Infrarotmesstechnik, 1990, Fachbuchverlag Leipzig
4. Walther, L., Gerber, D.: Infrarotmesstechnik, 1983, Verlag Technik Berlin
5. De Witt, Nutter: Theory and Practice of Radiation Thermometry, 1988, John Wiley & Son, New York, ISBN 0-471-61018-6
6. Wolfe, Zissis: The Infrared Handbook, 1978, Office of Naval Research, Department of the Navy, Washington DC.
7. Crastes, A. et al.: Uncooled amorphous silicon ¼ VGA IRFPA with 25 μm pixel-pitch for High End applications, “Infrared technologies and applications XXXIV”, Proc. SPIE 6940, 2008
8. Holst, Gerald C.: Electro-optical Imaging System Performance, JCD Publishing Winter Park, Florida USA, 2006, ISBN: 0-8194-6179-2
9. Ulrich Kienitz: Thermal imaging as a modern form of pyrometry, in: Journal of Sensors and Sensor Systems, 3, 265–271, 2014.

Terme	Explication
Absorption	Proportion de rayonnement réellement absorbé par un objet par rapport au rayonnement incident. Nombre compris entre 0 et 1.
Émissivité	Rayonnement émis d'un objet par rapport au rayonnement émanant d'un corps noir. Nombre compris entre 0 et 1.
Filtre	Matériau que seules certaines longueurs d'ondes infrarouge peuvent traverser.
FOV	Champ de vision : champ de vision horizontal d'une lentille infrarouge.
FPA	Matrice à plan-focal : type de détecteur infrarouge / typiquement micro-bolomètres
Corps gris	Objet qui émet une part de l'énergie qu'un corps noir émet à chaque longueur d'onde.
IFOV	Champ de vision instantanée : Valeur de la résolution géométrique d'un imageur thermique.
NETD	Différence de température équivalent bruit. Valeur du bruit (dans l'image) d'un imageur thermique.
Paramètre d'objet	Valeurs avec lesquelles les conditions de mesure et l'objet de mesure sont décrits (p. ex. émissivité, température ambiante, distance, etc.)
Signal d'objet	Valeur non calibrée qui fait référence au rayonnement que l'imageur thermique reçoit de l'objet de mesure.
Palette	Couleurs des images infrarouges
Pixel	Synonyme de picture element (élément de l'image). Point individuel dans une image.
Température de référence	Valeurs de température utilisée pour comparer des données de mesures régulières.
Réflexion	Rapport entre le rayonnement réfléchi par l'objet et le rayonnement incident. Nombre compris entre 0 et 1.
Corps noir	Objets ayant une réflexion de 0. Tout rayonnement est basé sur sa température.
Rayonnement spécifique spectral	Énergie émise par un objet par rapport au temps, à la surface et à la longueur d'onde ($W/m^2/\mu m$).
Rayonnement spécifique	Énergie émise par un objet par rapport aux unités de temps et de surface (W/m^2).
Rayonnement	Énergie émise par un objet par rapport au temps, à la surface et à un angle solide ($W/m^2/\mu m$).
Flux de rayonnement	Énergie émise par un objet par rapport à l'unité de temps (W).
Différence de température	Valeur déterminée par soustraction d'une valeur de température à une autre.
Plage de température / Étendue de mesure	Plage actuelle de mesure de température d'un imageur thermique. Les imageurs peuvent avoir de nombreuses plages de température. Elles sont décrites à l'aide de deux valeurs de corps noir qui servent de seuils pour le calibrage actuel.
Thermogramme	Image infrarouge / image thermique
Transmissivité	Les états gazeux et solides ont différentes transmissivités. La transmissivité décrit le niveau de rayonnement infrarouge qui traverse un objet. Nombre compris entre 0 et 1.
Environnement ambiant	Objets et gaz qui transmettent le rayonnement de l'objet à mesurer.

Appendice : Table d'émissivité

Références

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. Vlcek, 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: Emittansmätningar med AGEMA E-Box. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emissionsmessungen mit AGEMA E-Box. Technischer Bericht, AGEMA 1999.)
10. VDI/VDE - Richtlinien 3511, Blatt 4, technische Temperaturmessungen, Strahlungsthermometrie, Dez. 2011

T : spectre total SW : 2–5 µm LW : 8–14 µm LLW : 6,5–20 µm					
					Références
Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
Aluminium	Plaque, 4 échantillons rayés différemment	70	LW	0,03–0,06	9
Aluminium	Plaque, 4 échantillons rayés différemment	70	SW	0,05–0,08	9
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	LW	0,97	9
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	SW	0,61	9
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	LW	0,95	9
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	SW	0,67	9
Aluminium	plaque anodisée	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	moulé, sablé	70	LW	0,46	9
Aluminium	moulé, sablé	70	SW	0,47	9
Aluminium	trempe dans HNO ₃ , plaque	100	T	0,05	4
Aluminium	poli	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminium	poli, plaque	100	T	0,05	2
Aluminium	poli, plaque	100	T	0,05	4
Aluminium	surface rugueuse	20–50	T	0,06–0,07	1
Aluminium	oxydé en profondeur	50–500	T	0,2–0,3	1
Aluminium	profondément endommagé par les intempéries	17	SW	0,83–0,94	5
Aluminium	inchangé, plaque	100	T	0,09	2
Aluminium	inchangé, plaque	100	T	0,09	4
Aluminium	revêtu sous vide	20	T	0,04	2
Bronze d'aluminium		20	T	0,6	1
Hydroxyde d'aluminium	poudre		T	0,28	1
Oxyde d'aluminium	activé, poudre		T	0,46	1
Oxyde d'aluminium	propre, poudre (oxyde d'aluminium)		T	0,16	1
Amiante	carreaux de sol	35	SW	0,94	7
Amiante	panneaux	20	T	0,96	1
Amiante	tissus		T	0,78	1
Amiante	papier	40–400	T	0,93–0,95	1
Amiante	poudre		T	0,40–0,60	1
Amiante	brique	20	T	0,96	1
Asphalte, surface routière		4	LLW	0,967	8
Laiton	traité au papier de verre de 80	20	T	0,2	2
Laiton	plaque, fraisé	20	T	0,06	1
Laiton	plaque, traité au papier de verre	20	T	0,2	1
Laiton	fortement 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	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
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	émoussé, imparfait	20–350	T	0,22	1
Brique	oxyde d'aluminium	17	SW	0,68	5
Brique	dinas oxyde de silicium, ignifuge	1000	T	0,66	1
Brique	dinas oxyde de silicium, émaillé, endurci	1100	T	0,85	1
Brique	dinas oxyde de silicium, émaillé, endurci	1000	T	0,8	1
Brique	produit ignifuge, corindon	1000	T	0,46	1
Brique	produit ignifuge, magnésite	1000–1300	T	0,38	1
Brique	produit ignifuge, légèrement rayonnant	500–1000	T	0,76–0,80	1
Brique	produit ignifuge, fortement rayonnant	500–1000	T	0,8–0,9	1
Brique	brique réfractaire	17	SW	0,68	5
Brique	émaillé	17	SW	0,94	5
Brique	briquetage	35	SW	0,94	7
Brique	briquetage, en plâtre	20	T	0,94	1
Brique	normal	17	SW	0,86–0,81	5
Brique	rouge, normal	20	T	0,93	2
Brique	rouge, brut	20	T	0,88–0,93	1
Brique	chamotte	20	T	0,85	1
Brique	chamotte	1000	T	0,75	1
Brique	chamotte	1200	T	0,59	1
Brique	silicium amorphe, 95 % SiO ₂	1230	T	0,66	1
Brique	sillimanite, 33 % SiO ₂ , 64 % Al ₂ O ₃	1500	T	0,29	1
Brique	résistant à l'eau	d17	SW	0,87	5
Bronze	bronze au phosphore	70	LW	0,06	9
Bronze	bronze au phosphore	70	SW	0,08	1
Bronze	poli	50	T	0,1	1
Bronze	poreux, émoussé	50–100	T	0,55	1
Bronze	poudre		T	0,76–0,80	1
Carbone	Graphite, surface colmatée	20	T	0,98	2
Carbone	poudre de plombagine		T	0,97	1
Carbone	poudre de charbon		T	0,96	1
Carbone	suie de bougie	20	T	0,95	2
Carbone	suie de lampe	20–400	T	0,95–0,97	1
Fer moulé	traité	800–1000	T	0,60–0,70	1
Fer moulé	fluent	1300	T	0,28	1
Fer moulé	moulé	50	T	0,81	1
Fer moulé	blocs en fer moulé	1000	T	0,95	1
Fer moulé	oxydé	38	T	0,63	4
Fer moulé	oxydé	100	T	0,64	2
Fer moulé	oxydé	260	T	0,66	4
Fer moulé	oxydé	538	T	0,76	4
Fer moulé	oxydé à 600°C	200–600	T	0,64–0,78	1
Fer moulé	poli	38	T	0,21	4

Annexe : tableau d'émissivité

Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
Fer moulé	poli	40	T	0,21	2
Fer moulé	poli	200	T	0,21	1
Fer moulé	non traité	900–1100	T	0,87–0,95	1
Carton gris	non traité	20	SW	0,9	6
Chrome	poli	50	T	0,1	1
Chrome	poli	500–1000	T	0,28–0,38	1
Argile	cuit	70	T	0,91	1
Étoffe	noir	20	T	0,98	1
Béton		20	T	0,92	2
Béton	pavage	5	LLW	0,974	8
Béton	rugueux	17	SW	0,97	5
Béton	sec	36	SW	0,95	7
Cuivre	électrolytique, poli brillant	80	T	0,018	1
Cuivre	électrolytique, poli	–34	T	0,006	4
Cuivre	raclé	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, en profondeur	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	propre, surface préparée minutieusement	22	T	0,008	4
Oxyde de cuivre	poudre		T	0,84	1
Oxyde de cuivre	rouge, poudre		T	0,7	1
Terre	saturé à l'eau	20	T	0,95	2
Terre	sec	20	T	0,92	2
Émail		20	T	0,9	1
Émail	peint	20	T	0,85–0,95	1
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	plaque de particules	70	LW	0,89	9
Panneau de fibres	plaque de particules	70	SW	0,77	9
Panneau de fibres	poreux, non traité	20	SW	0,85	6
Verre	fin	25	LW	0,8 - 0,95	10
Feuillures de vitrages	8 couleurs et qualités différentes	70	LW	0,92–0,94	9
Feuillures de vitrages	9 couleurs et qualités différentes	70	SW	0,88–0,96	9
Feuillures de vitrages	aluminium, différents âges	50–100	T	0,27–0,67	1
Feuillures de vitrages	à base d'huile, moyenne de 16 couleurs	100	T	0,94	2
Feuillures de vitrages	chrome vert		T	0,65–0,70	1
Feuillures de vitrages	cadmium jaune		T	0,28–0,33	1
Feuillures de vitrages	bleu cobalt		T	0,7–0,8	1
Feuillures de vitrages	plastique, noir	20	SW	0,95	6
Feuillures de vitrages	plastique, blanc	20	SW	0,84	6
Feuillures de vitrages	huile	17	SW	0,87	5
Feuillures de vitrages	huile, différentes couleurs	100	T	0,92–0,96	1
Feuillures de vitrages	huile, gris brillant	20	SW	0,96	6
Feuillures de vitrages	huile, gris, mat	20	SW	0,97	6
Feuillures de vitrages	huile, noir, mat	20	SW	0,94	6
Feuillures de vitrages	huile, noir, brillant	20	SW	0,92	6
Or	poli brillant	200–600	T	0,02–0,03	1
Or	fortement poli	100	T	0,02	2
Or	poli	130	T	0,018	1
Granit	poli	20	LLW	0,849	8
Granit	rugueux	21	LLW	0,879	8
Granit	rugueux, 4 échantillons différents	70	LW	0,77–0,87	9
Granit	rugueux, 4 échantillons différents	70	SW	0,95–0,97	9
Gypse		20	T	0,8–0,9	1
Gypse, appliqué		17	SW	0,86	5
Gypse, appliqué	plaque de gypse, non traité	20	SW	0,9	6
Gypse, appliqué	surface rugueuse	20	T	0,91	2
Fer et acier	électrolytique	22	T	0,05	4
Fer et acier	électrolytique	100	T	0,05	4
Fer et acier	électrolytique	260	T	0,07	4
Fer et acier	électrolytique, poli brillant	175–225	T	0,05–0,06	1
Fer et acier	fraîchement fraisé	20	T	0,24	1
Fer et acier	fraîchement traité au papier de verre	20	T	0,24	1
Fer et acier	plaque polie	950–1100	T	0,55–0,61	1
Fer et acier	forgé, poli brillant	40–250	T	0,28	1
Fer et acier	plaque fraisée	50	T	0,56	1
Fer et acier	brillant, gravé	150	T	0,16	1
Fer et acier	couche d'oxyde brillante, plaque	20	T	0,82	1
Fer et acier	fraisé à chaud	20	T	0,77	1
Fer et acier	fraisé à chaud	130	T	0,6	1
Fer et acier	fraisé à froid	70	LW	0,09	9
Fer et acier	fraisé à froid	70	SW	0,2	9
Fer et acier	couvert de poussière rouge	20	T	0,61–0,85	1
Fer et acier	oxydé	100	T	0,74	1
Fer et acier	oxydé	100	T	0,74	4
Fer et acier	oxydé	125–525	T	0,78–0,82	1
Fer et acier	oxydé	200	T	0,79	2
Fer et acier	oxydé	200–600	T	0,8	1
Fer et acier	oxydé	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

Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
Fer et acier	plaque polie	750 – 1050	T	0,52 – 0,56	1
Fer et acier	émoussé, surface plane	50	T	0,95 – 0,98	1
Fer et acier	rouillé, rouge	20	T	0,69	1
Fer et acier	rouillé, rouge, plaque	22	T	0,69	4
Fer et acier	oxydé en profondeur	50	T	0,88	1
Fer et acier	oxydé en profondeur	500	T	0,98	1
Fer et acier	rouillé en profondeur	17	SW	0,96	5
Fer et acier	plaque rouillée en profondeur	20	T	0,69	2
Fer étamé	plaque	24	T	0,064	4
Glace :	voir eau				
Fer, galvanisé	plaque	92	T	0,07	4
Fer, galvanisé	plaque, oxydé	20	T	0,28	1
Fer, galvanisé	plaque, oxydé	30	T	0,23	1
Fer, galvanisé	oxydé en profondeur	70	LW	0,85	9
Fer, galvanisé	oxydé en profondeur	70	SW	0,64	9
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
Cuir	fourrure tannée		T	0,75 – 0,80	1
Calcaire			T	0,3 – 0,4	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
Poudre de magnésium			T	0,86	1
Molybdène		600 – 1000	T	0,08 – 0,13	1
Molybdène		1500 – 2200	T	0,19 – 0,26	1
Molybdène	ficelle	700 – 2500	T	0,1 – 0,3	1
Mortier		17	SW	0,87	5
Mortier	sec	36	SW	0,94	7
Nickel	câble	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	légèrement mat	122	T	0,041	4

Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
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	propre, poli	100	T	0,045	1
Nickel	propre, poli	200 – 400	T	0,07 – 0,09	1
Nickel-chrome	câble, nu	50	T	0,65	1
Nickel-chrome	câble, nu	500 – 1000	T	0,71 – 0,79	1
Nickel-chrome	câble, oxydé	50 – 500	T	0,95 – 0,98	1
Nickel-chrome	fraise	700	T	0,25	1
Nickel-chrome	sablé	700	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
Huile, Huile de lubrification	couche de 0,025 mm	20	T	0,27	2
Huile, Huile de lubrification	couche de 0,050 mm	20	T	0,46	2
Huile, Huile de lubrification	couche de 0,125 mm	20	T	0,72	2
Huile, Huile de lubrification	couche épaisse	20	T	0,82	2
Huile, Huile de lubrification	couche à base de Ni, uniquement base de Ni	20	T	0,05	2
Peinture	3 couleurs, pulvérisé sur aluminium	70	LW	0,92 – 0,94	9
Peinture	4 couleurs, pulvérisé sur aluminium	70	SW	0,50 – 0,53	9
Peinture	aluminium sur surface émoussée	20	T	0,4	1
Peinture	bakélite	80	T	0,83	1
Peinture	résistant à la chaleur	100	T	0,92	1
Peinture	noir, brillant, pulvérisé sur fer	20	T	0,87	1
Peinture	noir, mat	100	T	0,97	2
Peinture	noir, mat	40 – 100	T	0,96 – 0,98	1
Peinture	blanc	40 – 100	T	0,8 – 0,95	1
Peinture	blanc	100	T	0,92	2
Papier	4 couleurs différentes	70	LW	0,92 – 0,94	9
Papier	4 couleurs différentes	70	SW	0,68 – 0,74	9
Papier	revêtement à la peinture noire		T	0,93	1
Papier	bleu foncé		T	0,84	1
Papier	jaune		T	0,72	1
Papier	vert		T	0,85	1
Papier	rouge		T	0,76	1
Papier	noir		T	0,9	1
Papier	noir, émoussé		T	0,94	1
Papier	noir, émoussé	70	LW	0,89	9
Papier	noir, émoussé	70	SW	0,86	9
Papier	blanc	20	T	0,7 – 0,9	1
Papier	blanc, 3 revêtements brillants différents	70	LW	0,88 – 0,90	9

Annexe : tableau d'émissivité

Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
Papier	blanc, 3 revêtements brillants différents	70	SW	0,76–0,78	9
Papier	blanc, lié	20	T	0,93	2
Plastique	laminat de fibres optiques (carte de circuit imprimé)	70	LW	0,91	9
Plastique	laminat de fibres optiques (carte de 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, fond en plastique, é mousse, structuré	70	LW	0,93	9
Plastique	PVC, fond en plastique, é mousse, 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	câble	50–200	T	0,06–0,07	1
Platine	câble	500–1000	T	0,10–0,16	1
Platine	câble	1400	T	0,18	1
Platine	propre, poli	200–600	T	0,05–0,10	1
Polystyrène	isolation thermique	37	SW	0,6	7
Porcelaine	émaillé	20	T	0,92	1
Porcelaine	blanc, rayonnant		T	0,70–0,75	1
Caoutchouc	dur	20	T	0,95	1
Caoutchouc	doux, gris, é mousse	20	T	0,95	1
Sable			T	0,6	1
Sable		20	T	0,9	2
Papier de verre	grossier	80	T	0,85	1
Grès	poli	19	LLW	0,909	8
Grès	é mousse	19	LLW	0,935	8
Argent	poli	100	T	0,03	2
Argent	propre, poli	200–600	T	0,02–0,03	1
Peau	Être humain	32	T	0,98	2
Laitier	bassin	0–100	T	0,97–0,93	1
Laitier	bassin	200–500	T	0,89–0,78	1
Laitier	bassin	600–1200	T	0,76–0,70	1
Laitier	bassin	1400–1800	T	0,69–0,67	1
Neige :	voir eau				
Acier inox	plaque, poli	70	LW	0,14	9
Acier inox	plaque, poli		SW	0,18	9
Acier inox	plaque, non traité, rayé	70	LW	0,28	9
Acier inox	plaque, non traité, rayé	70	SW	0,3	9
Acier inox	fraise	700	T	0,45	1
Acier inox	alliage, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
Acier inox	sablé	700	T	0,7	1
Acier inox	type 18–8, brillant	20	T	0,16	2

Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
Acier inox	type 18–8, oxydé à 800 °C	60	T	0,85	2
Stuc	rugueux, jaune vert	90	T	0,91	1
Goudron			T	0,79–0,84	1
Goudron	papier	20	T	0,91–0,93	1
Étain	brillant	20–50	T	0,04–0,06	1
Étain	plaque en étain	100	T	0,07	2
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
Tungstène		200	T	0,05	1
Tungstène		600–1000	T	0,1–0,16	1
Tungstène		1500–2200	T	0,24–0,31	1
Tungstène	ficelle	3300	T	0,39	1
Vernis	sur parquet en chêne	70	LW	0,90–0,93	9
Vernis	sur parquet en chêne	70	SW	0,9	9
Vernis	mat	20	SW	0,93	6
Vulcanite			T	0,89	1
Papier peint	avec léger schéma, gris clair	20	SW	0,85	6
Papier peint	avec léger schéma, rouge	20	SW	0,9	6
Eau	distillé	20	T	0,96	2
Eau	glace, fortement couverte de givre	0	T	0,98	1
Eau	glace, glissante	–10	T	0,96	2
Eau	glace, glissante	0	T	0,97	1
Eau	cristaux de gel	–10	T	0,98	2
Eau	revêtu > 0,1 mm d'épaisseur	0–100	T	0,95–0,98	1
Eau	neige		T	0,8	1
Eau	neige	–10	T	0,85	2
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	traité au papier de verre		T	0,5–0,7	1
Bois	pin, 4 échantillons différents	70	LW	0,81–0,89	9
Bois	pin, 4 échantillons différents	70	SW	0,67–0,75	9
Bois	contre-plaqué, plane, sec	36	SW	0,82	7
Bois	contre-plaqué, non traité	20	SW	0,83	6
Bois	blanc, humide	20	T	0,7–0,8	1
Zinc	plaque	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

Annexe: Critères de sélection pour les appareils de mesure de température sans contact

Critères de choix d'un thermomètre IR

Un large choix de thermomètres infrarouges est disponible pour la mesure des températures sans contact. Les critères ci-dessous vous aideront à déterminer le meilleur instrument de mesure pour votre application:

- Pyrométrie ou thermographie
- Plage de température efficace
- Conditions environnementales
- Taille de cibles
- Nature et état de surface de l'objet mesuré
- Vitesse d'évolution du procédé
- Interface
- Emissivité

Pyrométrie ou thermographie

Comprendre si l'application peut se traiter avec un point de mesure ou nécessite une analyse détaillée de la surface visée. Il y a quelques rares cas où les deux technologies peuvent répondre; dans cette situation, le budget devient un paramètre et nous recommandons, de consulter un de nos ingénieurs applications.

Plage de température

Choisir la plage de température du détecteur le plus judicieusement possible, afin de garantir une haute résolution du détecteur pour toute l'étendue de mesure. La plage de mesure pour une caméra thermique peut être définie manuellement ou encore par une interface numérique.

Conditions environnementales

La température d'ambiance maximale supportable par les instruments de mesure est un paramètre très important. Certains thermomètres optris® CT peuvent opérer jusqu'à 250 °C ambiants sans aucun refroidissement. Avec une double enveloppe refroidie par air ou par eau, les thermomètres peuvent fonctionner à des températures bien plus élevées. De plus, les systèmes "Air purge" permettent de se prémunir des effets de poussières qui seraient présentes dans l'atmosphère.

Dimension de la cible

La dimension de l'objet visé doit au moins être égale au champ optique de visée du pyromètre pour donner des résultats de mesure efficaces. Le spot, diamètre de la cible visée (S) change en fonction de la distance au capteur (D). Les fiches techniques des matériels spécifient la relation D:S pour les différentes optiques.

Plus d'information en consultation de notre calculateur de taille de point de mesure:
<http://www.optris.fr/calculateur-de-point-de-mesure>

Nature du matériau et état de surface de la cible

L'émissivité dépend du matériau, de son état de surface et d'autres facteurs. La règle de base peut toutefois se résumer ainsi: Plus forte est la valeur de l'émissivité, plus la campagne de mesures pourra donner des informations pertinentes. De nombreux pyromètres IR proposent un réglage de l'émissivité. Les valeurs les plus fiables peuvent être extraites des tables qui figurent en annexe.

Vitesse des variations du procédé

Le temps de réponse d'un capteur infrarouge est bien plus rapide comparé à un instrument de contact. Ces valeurs s'étendent entre 1 ms et 250 ms, essentiellement dépendantes du détecteur lui-même. Dans la plage des basses températures, les thermopiles ont des limitations, mais l'usage d'une caméra peut répondre aux cas difficiles. Il est en plus possible de traiter le signal en activant un maintien du maximum (fonction peak hold).

Interfaçage analogique et numérique

Pour l'exploitation de la mesure, les sorties analogiques sont le plus couramment utilisées. Elles ont cependant complétées par des solutions numériques:

- Sorties analogiques : 0/4 – 20 mA, 0 – 10 V
- Thermocouple: Type J, Type K
- Interfaces numériques: CAN, Profibus-DP, RS232, RS485, USB, Relais, Ethernet



Vous trouvez une présentation technique globale des produits optris dans le catalogue général:

<http://www.optris.fr/telechargements>

innovative infrared technology

Optris GmbH
Ferdinand-Buisson-Str. 14
13127 Berlin · Allemagne
Phone: +49 (0)30 500 197-0
Fax: +49 (0)30 500 197-10
E-mail: info@optris.com
www.optris.fr