

when temperature matters

## PRINCIPES DE BASE

de la mesure de  
température sans contact

## Sommaire

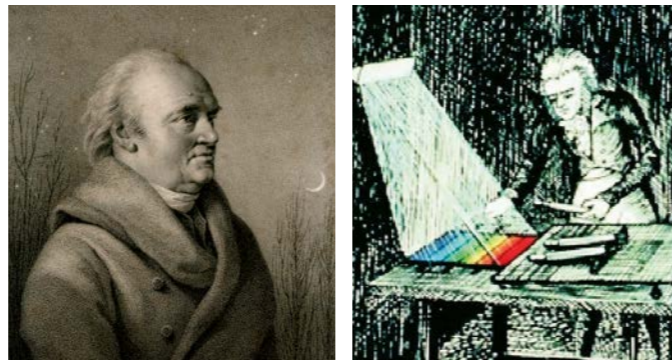
	Page
Principes physiques .....	4 – 9
Emissivité et mesure de température .....	10 – 14
Optiques-techniques de visée et électroniques .....	15 – 18
Capteurs et applications de la mesure de la température sans contact.....	19
Caméras infrarouges et applications .....	20 – 28
Thermomètres infrarouges et applications .....	29 – 31
Thermomètres infrarouges portables .....	32
Annexe: Glossaire .....	33
Annexe: Table d'émissivité .....	34 – 37
Annexe: Critères de sélection pour la mesure de température sans contact .....	38
Littérature .....	39

## 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

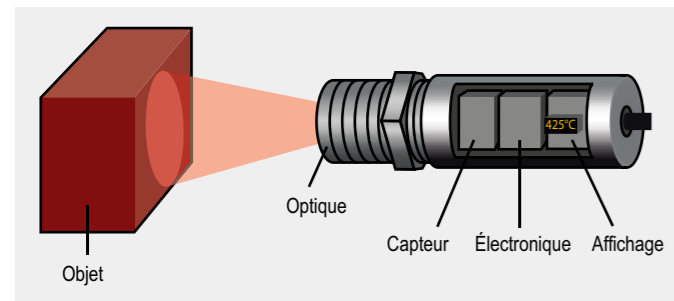
La surface de chaque corps dont la température est supérieure au zéro absolu ( $-273,15^{\circ}\text{C} = 0$  Kelvin) émet un rayonnement électromagnétique, proportionnel à sa température intrinsèque. Une partie de ce rayonnement intrinsèque est située dans l'infrarouge et peut caractériser la température 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



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 put 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.

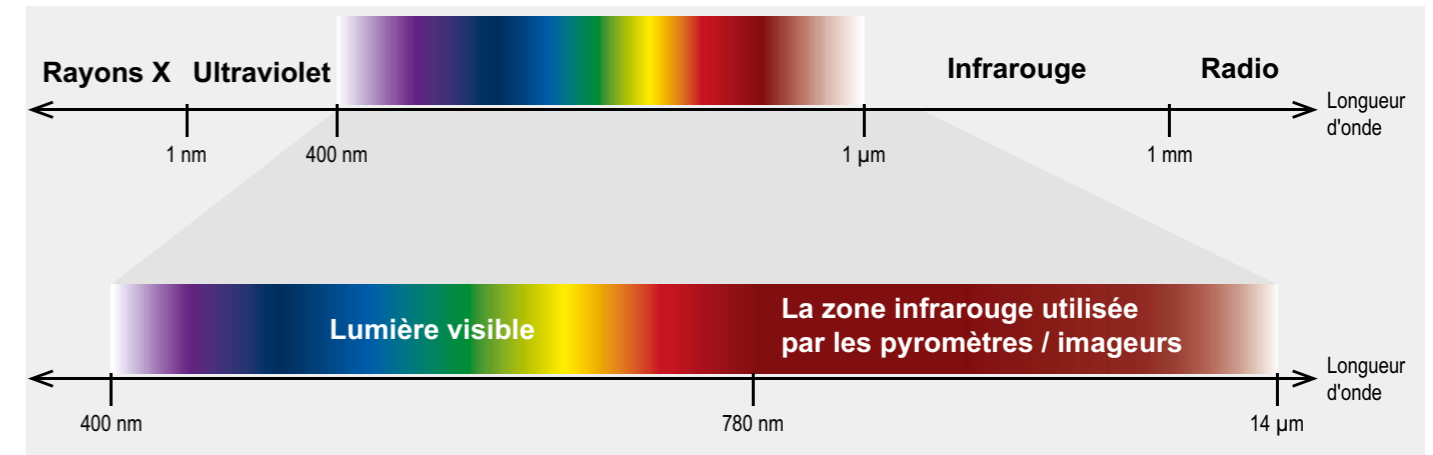


Système Infrarouge

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



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  $0,78 \mu\text{m}$  et finit à une longueur d'onde approximative de  $1000 \mu\text{m}$ .

La plage de longueurs d'ondes de  $0,7$  à  $14 \mu\text{m}$  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

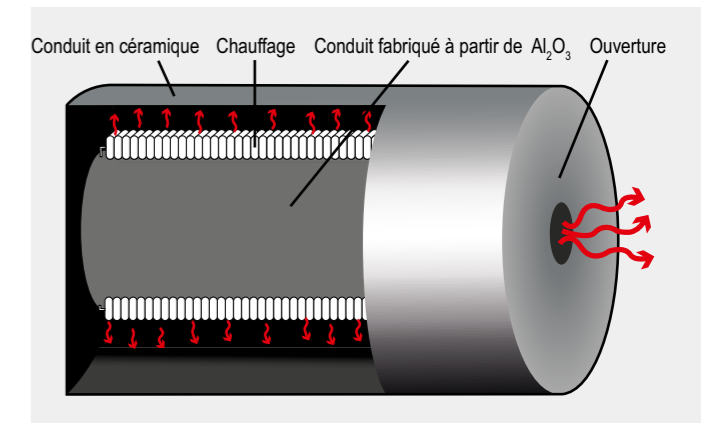
En 1900 Max Planck, Josef Stefan, Ludwig Boltzmann, Wilhelm Wien and Gustav Kirchhoff ont défini et établi les corrélations qualitatives et quantitatives pour décrire l'énergie infrarouge. Ils écrivirent les principales lois du rayonnement électromagnétique.

### 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:

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 atteigne 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 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  $\lambda$ .

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

- $c$  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

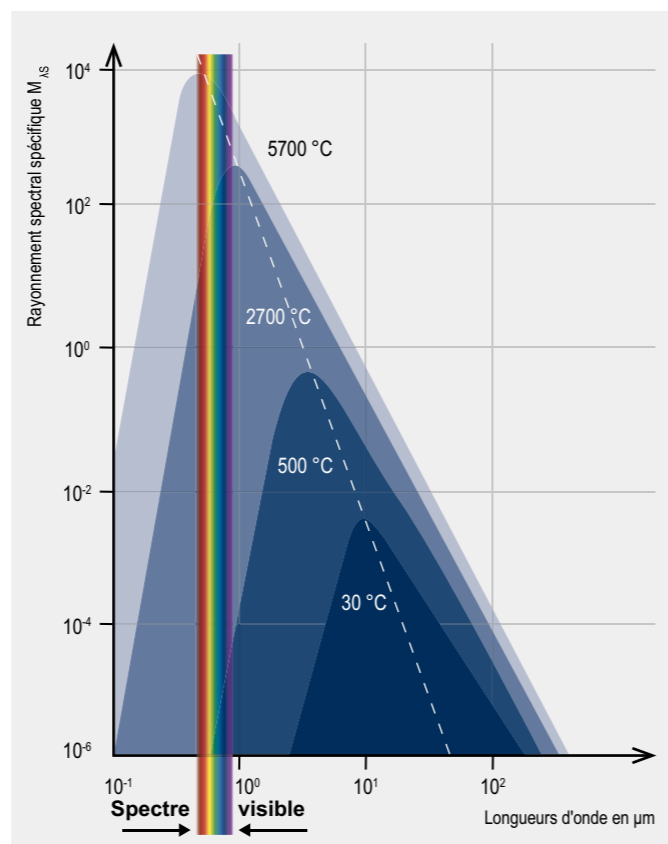
L'illustration suivante permet de visualiser le domaine spectral associé à quelques températures typiques.

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.

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



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

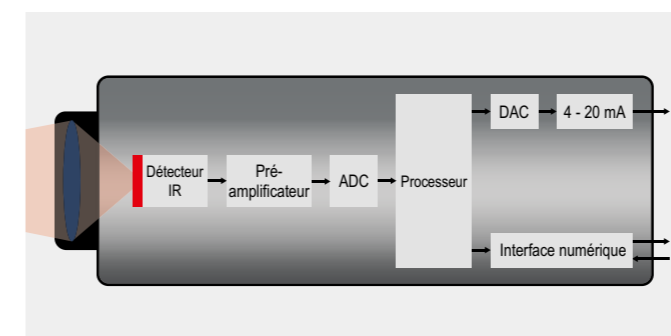
Dans la nature, peu de corps ont les propriétés du corps noir, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas de parfaits radiateurs. La plupart des corps réels émettent beaucoup moins d'énergie pour une température donnée. Le rapport « énergie émise par un corps réel / énergie émise par un corps noir » dans les mêmes conditions est dénommé émissivité  $\epsilon$ . 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 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:  $\epsilon + \rho + \tau = 1$

- $\epsilon$  émissivité
- $\rho$  réflexion
- $\tau$  transmissivité

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

$$\epsilon + \rho = 1$$



Schema 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.

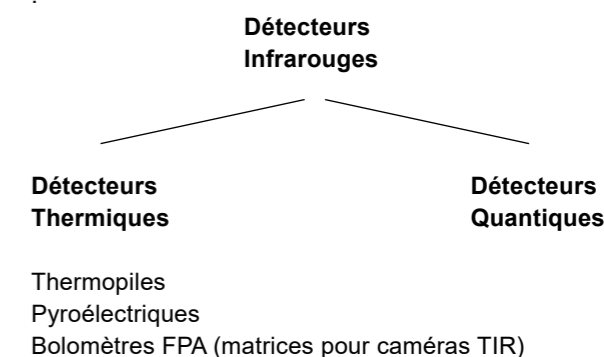
Pour compenser l'influence de la température environnementale (réflexion sur la cible, échauffement du capteur infrarouge), un détecteur dédié mesure la température interne de l'instrument ou celle de son système optique. La détermination de la température de l'objet mesuré est effectuée en trois étapes:

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

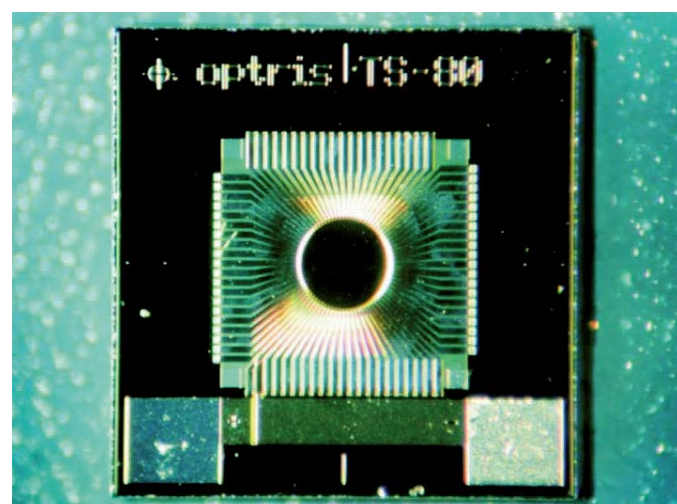


## Détecteurs Thermiques

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

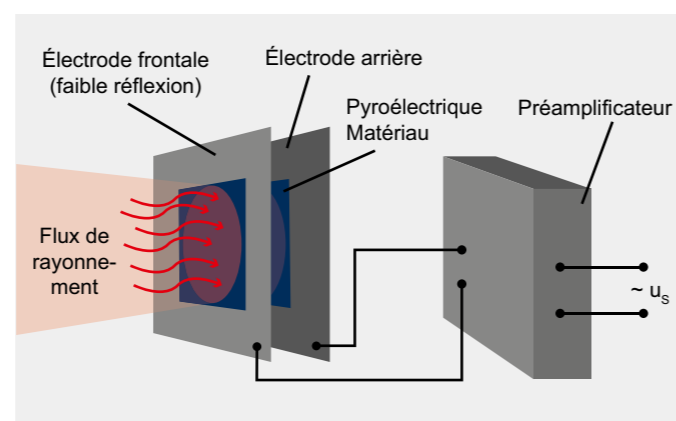


Thermopile TS80

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.

## 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.



Construction d'un détecteur pyroélectrique

## 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 μs)

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:

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

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

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

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

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

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  $\lambda$ . Pour le domaine des longueurs d'onde de 1 à 14 μm,  $n$  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.

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

Ainsi la température de la cible est exprimée comme suit:

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

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

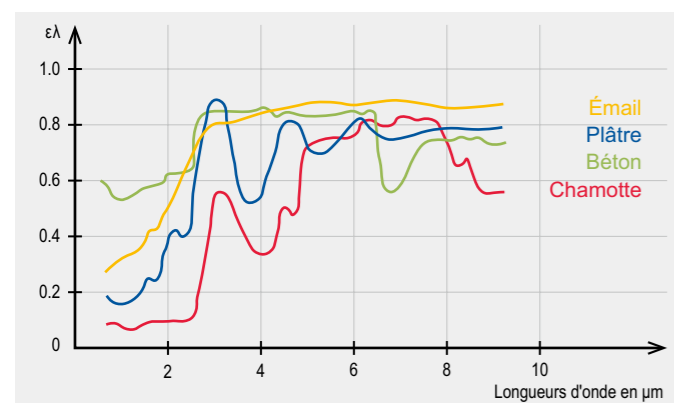
Cette formule montre que l'émissivité  $\epsilon$  est essentielle, dès lors qu'il s'agit de mesurer les températures par rayonnement électromagnétique. Cette valeur comprise entre 0 et 1 donne le rapport entre le rayonnement du corps visé, et le rayonnement du corps noir dans les mêmes conditions de 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 ( $\epsilon < 1$ ). 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 mesures des températures

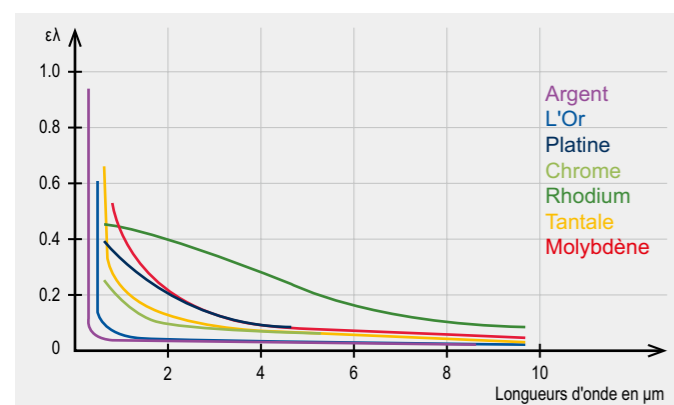
L'émissivité est un paramètre clé pour une mesure précise de la température. Elle dépend de plusieurs facteurs et doit être ajustée par application.

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.



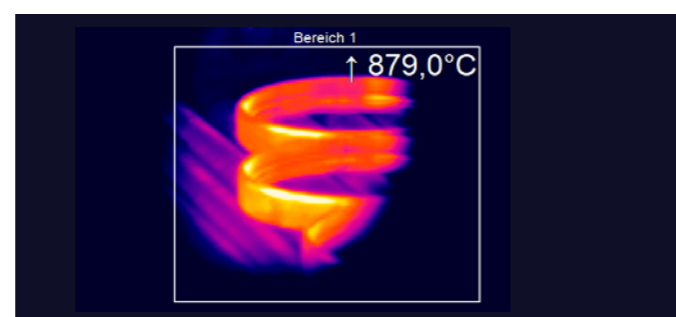
Emissivité spectrale de certains matériaux

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.



Émissivité spectrale des matériaux métalliques

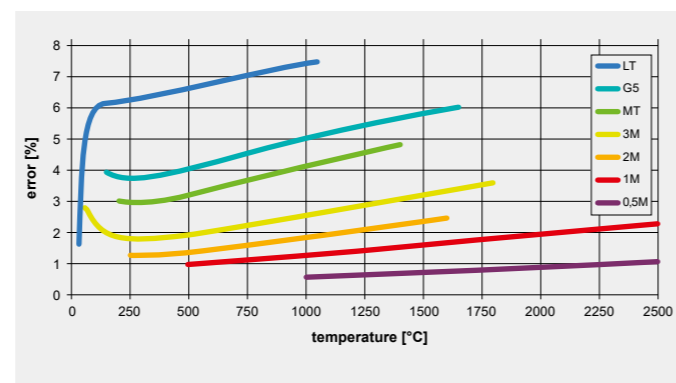
## Mesure de température des métaux



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.

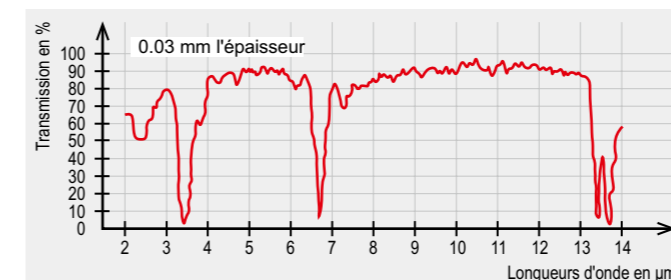


Erreur de mesure liée à un erreur d'ajustement d'émissivité de 10 %, en relation avec la longueur d'onde et la température de l'objet (LT: 8-14 μm; G5: 5 μm; MT: 3.9 μm; 3M: 2.3 μm; 2M: 1.6 μm; 1M: 1.0 μm; 05M: 525 nm).

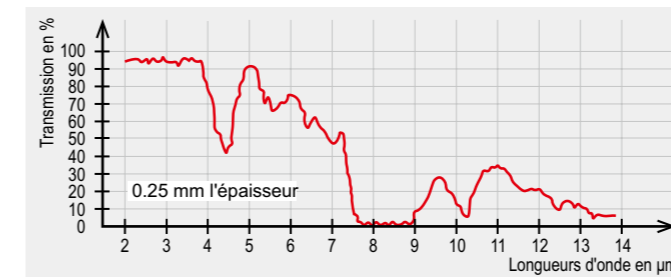
Plus d'informations dans: [www.optris.com/fr/industries/metal](http://www.optris.com/fr/industries/metal)

## 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.

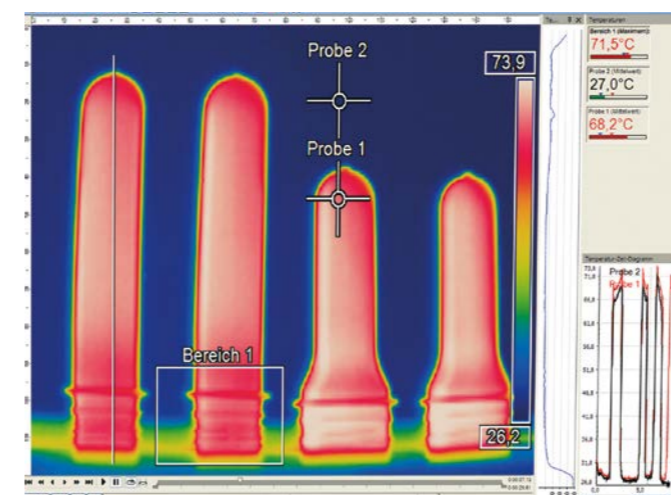


Transmissivité d'un film de polyéthylène



Transmissivité d'un film de polyester

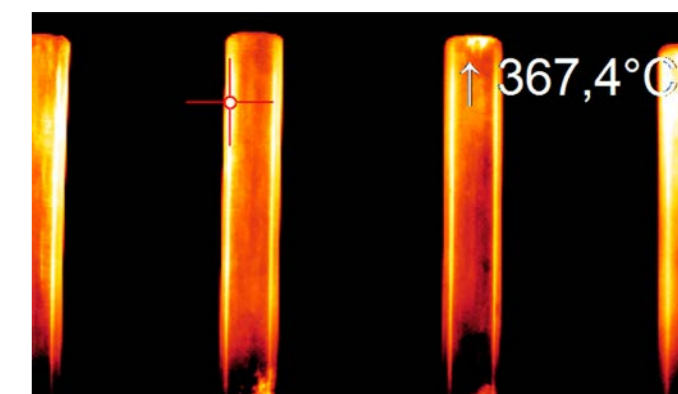
Le fabricant de thermomètres infrarouges peut déterminer le domaine spectral le mieux adapté pour la mesure d'une plage de température donnée, en caractérisant les différents plastiques à traiter. La réflectivité de la plupart des plastiques est comprise entre 5 et 10 %.



Analyse détaillée de préformes durant une production de bouteilles plastiques

Plus d'informations sur les applications plastiques dans notre brochure: [www.optris.fr/matieres-plastiques](http://www.optris.fr/matieres-plastiques)

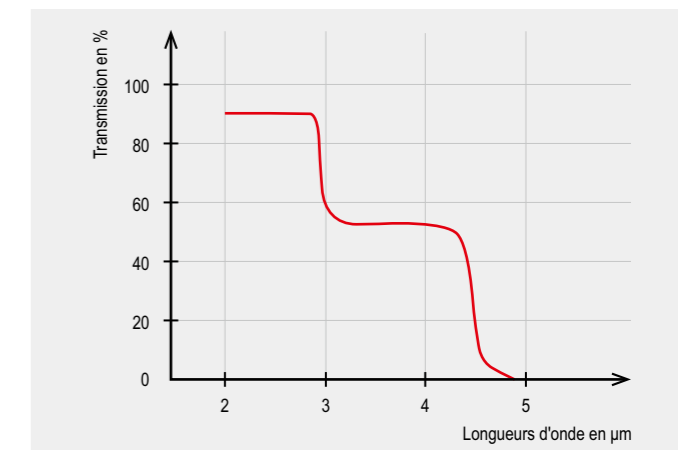
## Mesure de température du verre



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.



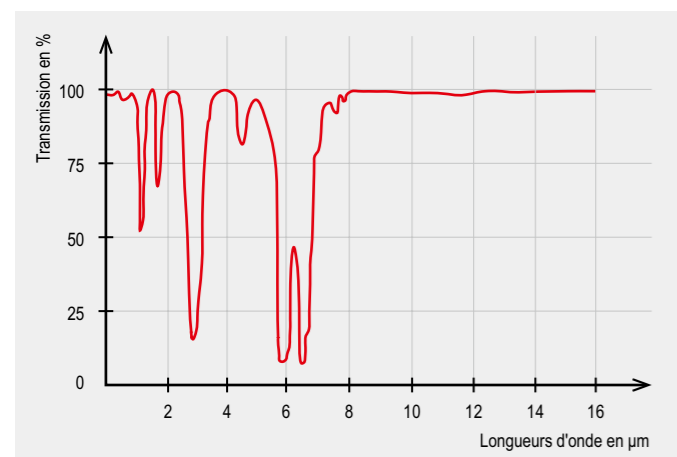
Transmissivité du verre

Plus d'information sur les applications de verre dans notre brochure: [www.optris.com/fr/industries/glass](http://www.optris.com/fr/industries/glass)

## Influences environnementales

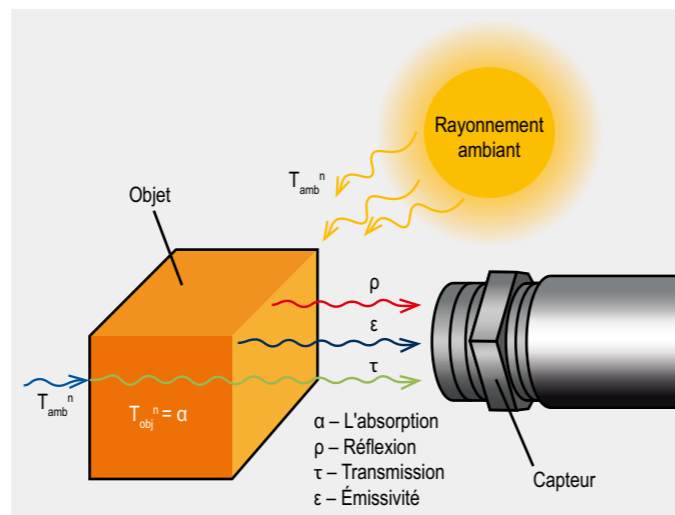
Le graphe ci-dessous montre que la transmissivité de l'air est fortement dépendante de la longueur d'onde. Des zones de transmission quasi-nulles alternent avec des zones de haute transmissivité –on parle de fenêtre atmosphérique. La transmissivité dans le domaine haut de la fenêtre atmosphérique (8 – 14  $\mu\text{m}$ ) 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  $\mu\text{m}$ , 2 – 2,5  $\mu\text{m}$  et 3 – 5  $\mu\text{m}$ .

D'autres variables additionnelles perturbatrices sont les sources de rayonnement parasites environnantes ; elles peuvent se réfléchir sur de la cible visée. Pour obtenir une 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.

## Etalonnage 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.

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.



Certificat du German National Metrological Institute (PTB)



thermomètre à radiation standard de transfert CT-PTB



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.

Lors de l'établissement des certificats d'étalonnage, outre la température ambiante et l'humidité de l'air du laboratoire d'étalonnage, la distance de mesure et le diamètre de l'ouverture du corps de rayonnement (géométrie d'étalonnage) sont également enregistrés.



Des normes techniques élevées sont appliquées non seulement à la production d'appareils de mesure, mais aussi à la participation active à des processus de normalisation sectoriels. Actuellement, les ingénieurs de développement travaillent, entre autres, dans les groupes de travail pour la thermométrie par rayonnement appliquée (GMA 8.1) et la mesure de la température avec des caméras d'imagerie thermique (GMA 8.16) du Verein Deutscher Ingenieure (VDI).

## 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.

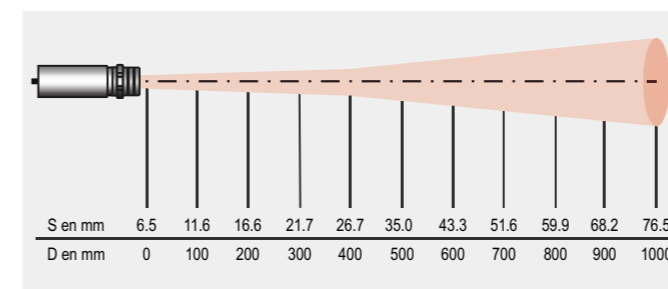
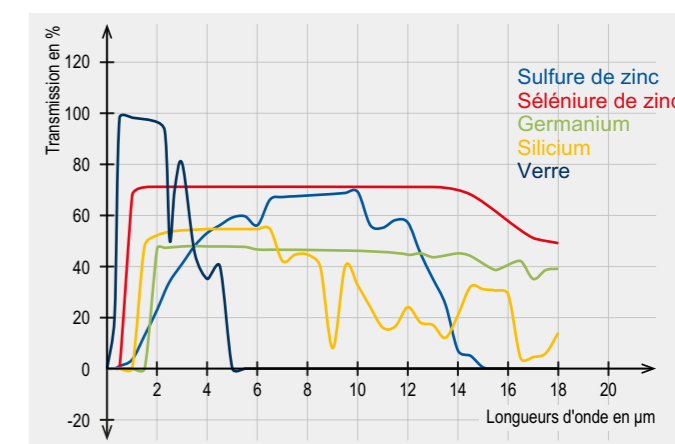


Diagramme optique d'une sonde infrarouge

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 infrarouges typiques (1 mm d'épaisseur)

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 Sélénure 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.



Matière hublot / propriétés	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaF <sub>2</sub>	ZnS	ZnSe	KRS <sub>5</sub>	GE	Si
Longueur d'onde infrarouge recommandée en µm	1 ... 4	1 ... 2.5	2 ... 8	2 ... 8	2 ... 14	2 ... 14	1 ... 14	2 ... 14	1.5 ... 8
Température max. du hublot en °C	1800	900	600	500	250	250	pas d'info	100	200
Transmissivité dans le spectre visible	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non
Résistance à l'humidité, aux acides, à l'ammoniaque	très bien	très bien	few	few	bon	bon	bon	bon	très bien
Approprié pour UHV	oui	oui	oui	oui	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.

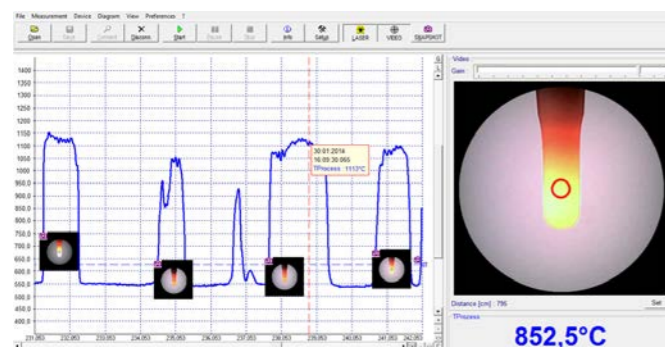
## Les tendances en techniques de visée

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-video 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.



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

## Le nouveau concept de double laser

La double visée laser facilite l'orientation du capteur. Le laser est réglé de manière à ce que le point de mesure infrarouge soit situé entre les deux points laser. Au point focal de l'optique concernée, les deux points laser se superposent et marquent ainsi le point de mesure minimal comme un seul point laser. Le capteur peut ainsi être positionné exactement sur l'objet à mesurer.

## Le principe du réticule du pyromètre vidéo

En utilisant de nouvelles technologies d'éclairage laser, nous avons réussi à présenter le point de mesure des thermomètres infrarouges à l'aide d'un réticule visible. Deux diodes laser disposées à 90° autour du canal de mesure optique infrarouge ont été équipées de générateurs de lignes. Les lignes laser produisent ainsi un réticule sur le plan de l'objet, qui marque toujours avec précision le centre du point de mesure, quelle que soit la distance par rapport à l'objet.

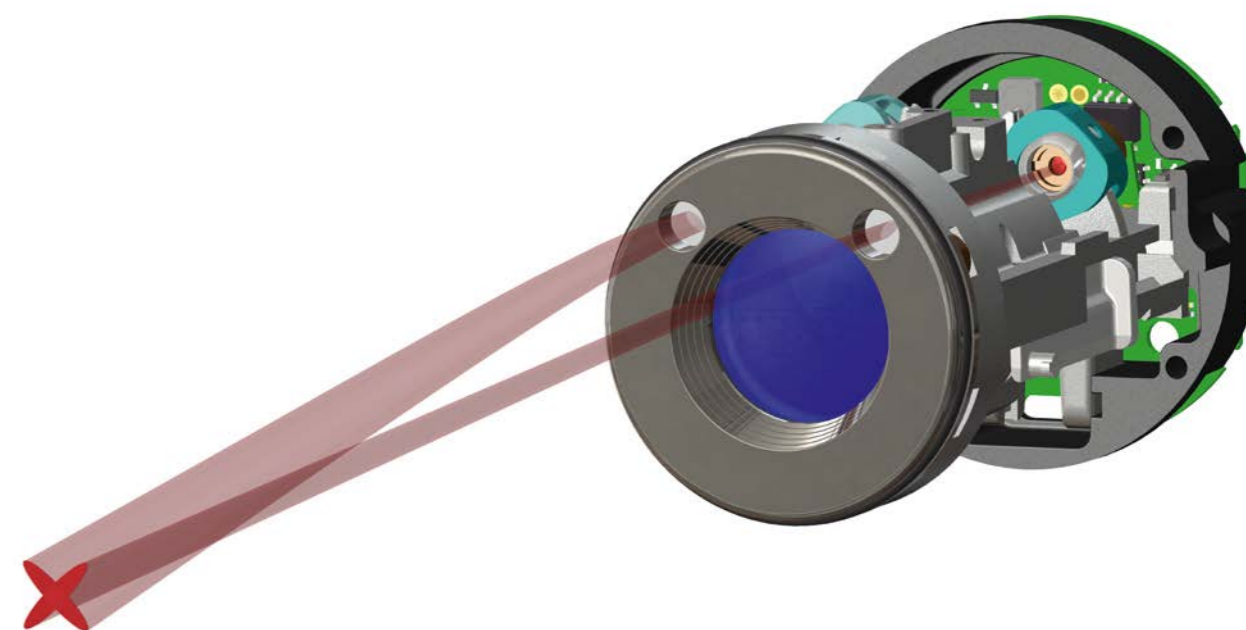
Grâce à cette technologie, il est possible pour la première fois de marquer le centre du point de mesure avec un laser qui ne provient pas du centre de l'optique. Outre les avantages en termes de conception, cela permet d'améliorer l'utilisation pratique d'appareils dotés de bonnes performances optiques.

## Focalisation fixe ou flexible

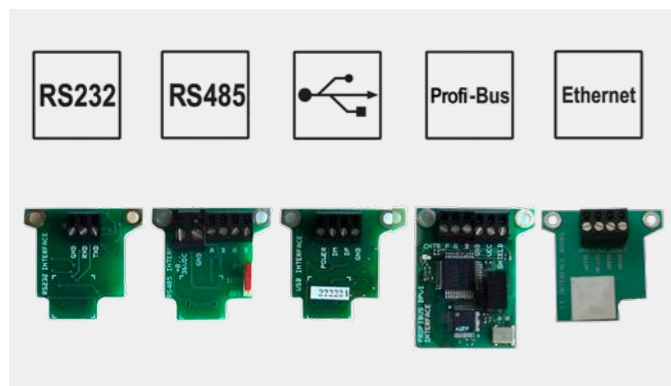
De nombreux thermomètres infrarouges ont une focalisation dite fixe, c'est-à-dire que l'optique est focalisée pour une certaine distance de mesure. Cela signifie que l'utilisateur recherche la version qui convient plus ou moins à son application parmi une multitude d'options focales différentes. Il est toujours possible de mesurer avec précision en dehors de la distance de mesure prédéfinie, mais dans ces zones, la résolution optique (rapport D:S) est moins bonne. Ceci n'est valable que pour la longueur focale en question.

Les thermomètres infrarouges à focale variable permettent à l'utilisateur de focaliser la distance de mesure souhaitée en continu. L'avantage est qu'il est possible d'utiliser la meilleure résolution optique de l'appareil dans tous les cas, puisque le rapport D:S s'applique à chaque distance de mesure focalisée. Ces thermomètres infrarouges peuvent donc également être utilisés pour des distances de mesure ou des tailles d'objets variables, en s'adaptant simplement à la nouvelle tâche de mesure.

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.



Principe innovant de la croix du pyromètre vidéo



Sorties et interfaces (analogiques et numériques).  
Par exemple : modules d'interface numérique enfichables du boîtier électronique.

Afin d'afficher correctement la taille du point, des systèmes de visée optique ont été mis au point avec un marquage de la taille dans le réticule, ce qui permet un ciblage précis. Étant donné que les pyromètres laser sont nettement plus simples et plus sûrs que les thermomètres à contact, les ingénieurs ont essayé de marquer la taille de la tache avec des techniques de visée laser indépendamment de la distance - selon le rapport distance-taille de la tache dans le diagramme. Deux faisceaux laser déformés montrent approximativement le rétrécissement du faisceau de mesure et son élargissement à de plus grandes distances.

distance. Cependant, le diamètre de la taille du point n'est indiqué que par deux points sur la circonférence extérieure. En raison de la conception, la position angulaire de ces points laser sur le circuit de mesure se déplace, ce qui rend la visée difficile.

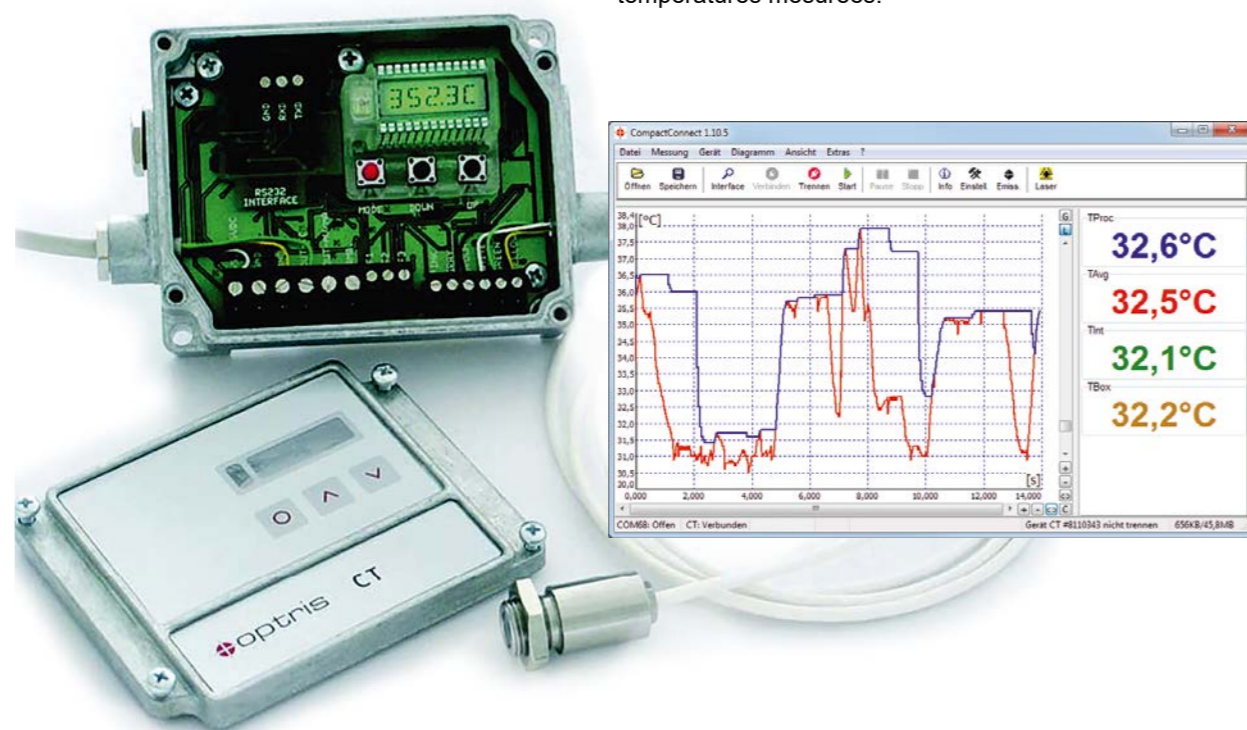
Les pyromètres vidéo, qui permettent un marquage précis du champ de mesure grâce à l'utilisation simultanée d'un module vidéo et d'une technologie de visée laser à réticule, constituent une avancée.

## 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.

Les interfaces de sortie des thermomètres infrarouges peuvent être directement connectées à un PC, un ordinateur portable ou une imprimante de données de mesure.

Des graphiques et des diagrammes spécifiques au client peuvent être créés à l'aide d'un logiciel PC.



## Capteurs et applications de sans contact

La mesure de la température sans contact à l'aide de thermomètres infrarouges est une méthode qualifiée de contrôle, de surveillance et de gestion des températures de processus, ainsi que de maintenance préventive des machines et des installations. Les thermomètres infrarouges portables ou les capteurs infrarouges en ligne sont classés dans la catégorie des appareils de mesure de points et d'images et peuvent être sélectionnés en fonction de l'application.

### Caméras infrarouges

Une caméra est conçue pour prendre des images de l'environnement, qu'il soit en mouvement ou statique. Alors que les caméras traditionnelles captent la lumière visible pour l'œil humain, les caméras infrarouges travaillent dans une zone de longueur d'onde plus élevée, afin de mesurer la température de la surface sur la base du rayonnement détecté. Les images ainsi prises peuvent être recalculées pour présenter une image de la température de l'objet enregistré. Une représentation en fausses couleurs permet de visualiser clairement les différentes températures à l'aide de différentes couleurs. Cela permet à l'utilisateur d'identifier très facilement les zones chaudes ou froides sur la base de l'image. Grâce à des logiciels associés, les caméras infrarouges peuvent être utilisées pour différentes applications, comme par exemple la détection de points chauds ou le balayage de lignes à travers de minuscules fentes. Les applications des caméras infrarouges sont très variées et vont de la maintenance des équipements électriques au contrôle des processus dans divers secteurs industriels, en passant par l'assurance qualité des pièces.



### Thermomètres/ pyromètres à infrarouge

Les thermomètres ou pyromètres à infrarouge permettent de mesurer sans contact la température d'un objet en un seul point. Les thermomètres infrarouges sont très compacts et s'intègrent facilement dans un large éventail d'environnements d'application. Il existe des appareils qui peuvent être sélectionnés en fonction des plages de

température et des longueurs d'onde, et qui peuvent être adaptés à l'application industrielle. Les pyromètres se distinguent entre les capteurs compacts à bas prix (série compacte) et les thermomètres à haute performance (série haute performance). Les deux séries peuvent fournir des valeurs de mesure via diverses interfaces standard, ce

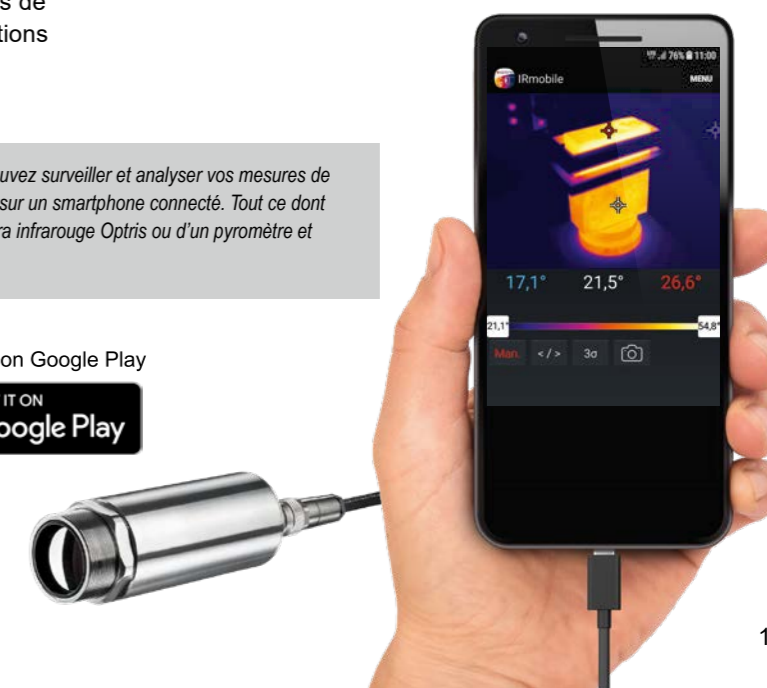
qui permet de les utiliser directement pour le contrôle des processus. Les thermomètres infrarouges trouvent des applications typiques dans de nombreux processus industriels, où le maintien d'une température exacte est important, par exemple dans l'industrie des plastiques et des métaux ou dans la fabrication d'emballages en carton.

En fonction de l'application, il existe des caméras dotées de différentes optiques, résolutions et fréquences d'image.

Avec l'application IRmobile, vous pouvez surveiller et analyser vos mesures de température infrarouge directement sur un smartphone connecté. Tout ce dont vous avez besoin, c'est d'une caméra infrarouge Optris ou d'un pyromètre et d'un appareil Android version 5.0.



disponible on Google Play



## Caméras infrarouges et applications

L'aspect fascinant de l'imagerie thermique moderne a toujours été de voir des points chauds localisés, ce qui permet de détecter les faiblesses de notre environnement. Grâce notamment à des méthodes de fabrication des capteurs d'images optiques IR toujours plus efficaces, les caméras infrarouges ont connu une amélioration radicale de leur rapport prix/performance.

Les appareils sont devenus plus petits, plus robustes et moins gourmands en énergie. Depuis quelque temps, il existe des systèmes de mesure thermographique qui, à l'instar d'une webcam, ne nécessitent qu'un port USB pour fonctionner.

### optique de caméra infrarouge

Les caméras infrarouges fonctionnent comme des caméras numériques normales : Elles ont un champ de vision qui peut être compris entre 6° (télé) et 90° (grand angle). Plus vous êtes éloigné de l'objet, plus la zone d'image capturée est grande et, par conséquent, plus la section d'image couverte par un pixel est grande. L'avantage de ces conditions est que l'intensité lumineuse est indépendante de la distance sur des surfaces suffisamment grandes. Cela signifie que les mesures de température ne sont généralement pas affectées par la distance par rapport à l'objet à mesurer. [1]

Le rayonnement thermique ne peut être focalisé dans le domaine infrarouge à longue portée (8-14  $\mu\text{m}$ ) qu'à l'aide d'optiques en germanium, alliages de germanium, sels de zinc ou miroirs de surface.

Comparées aux lentilles produites en série auxquelles nous sommes habitués dans la partie visible du spectre, ces sortes de lentilles spécialisées représentent encore un facteur de

coût considérable pour les caméras thermiques. Ils sont conçus comme des optiques sphériques à 3 lentilles ou asphériques à 2 lentilles et doivent être calibrés pour obtenir des mesures thermométriques correctes, en particulier pour les caméras dont les lentilles sont interchangeables, en raison de leur influence sur les pixels individuels.

### Calculateur d'optique pour caméras infrarouges



available on Google Play

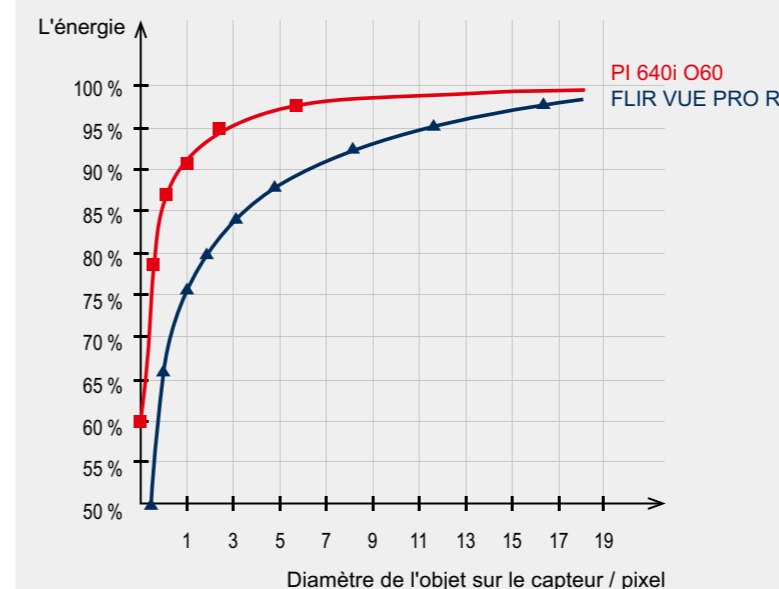
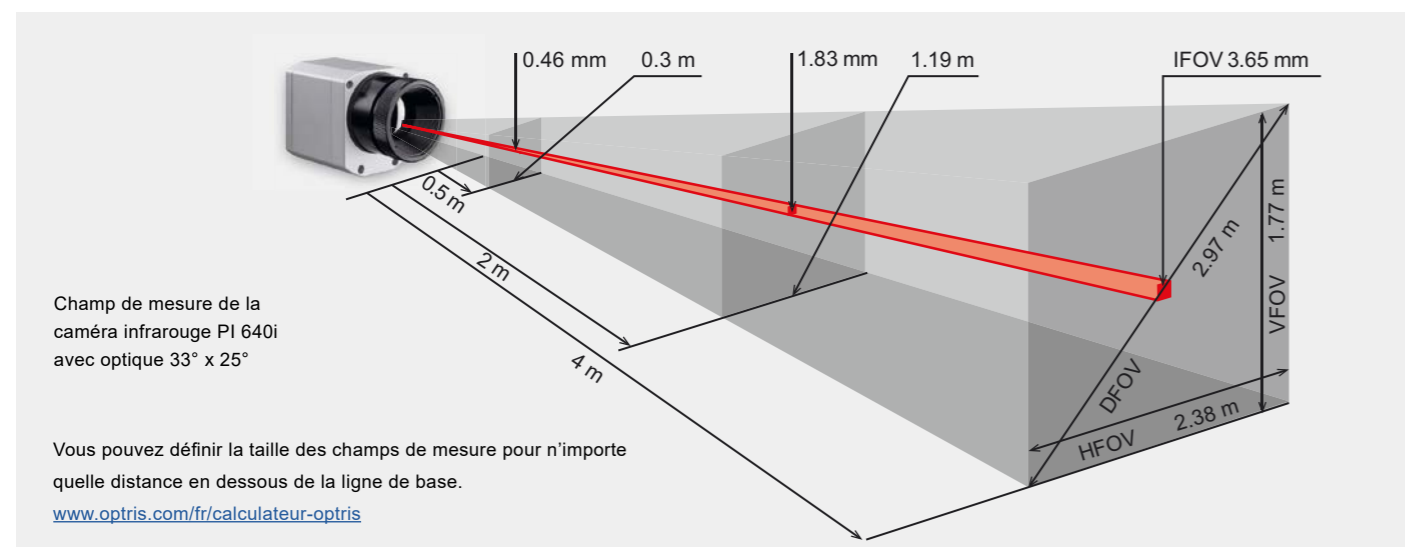
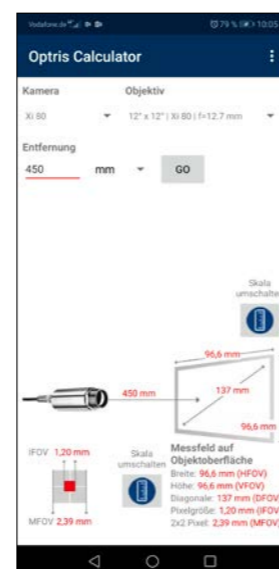


Figure 1:

### Résolution géométrique pour une mesure idéale de la température

Lors de la conception d'optiques pour les caméras de mesure IR, une attention particulière doit être accordée à la qualité du contraste de détail avec lequel un objet peut être représenté dans l'image. Cette qualité est décrite par la fonction de transfert de modulation (MTF). Étant donné que, contrairement aux caméras visuelles, les caméras IR s'intéressent davantage au contraste thermique, celui-ci est utilisé avec la fonction de réponse à la fente (SRF). Le résultat est déterminé par le nombre de pixels qu'un objet doit remplir pour que sa température puisse être mesurée avec précision. Dans les systèmes optiques infrarouges de haute performance, ce nombre est de 3x3 pixels (courbe rouge, fig. 1). Dans les systèmes optiques de moindre qualité, il faut parfois jusqu'à 10x10 pixels (courbe bleue, fig. xx) pour recevoir 90 % de l'énergie. Un objectif de caméra performant permet également une plus grande distance de mesure avec le même nombre de pixels du détecteur, ou la mesure précise de la température de structures et d'objets plus petits. La géométrie de 3x3 pixels est décrite comme MFOV (champ de vision de mesure) - un seul pixel sur la surface de l'objet est décrit comme IFOV (champ de vision instantané). Le MFOV est comparable à la définition du point de mesure des thermomètres infrarouges.

Le cœur de la caméra infrarouge de la grande majorité des systèmes thermographiques utilisés dans le monde est un réseau de plans focaux (FPA). Les FPA sont des capteurs d'image intégrés de 6400 à 1 million de pixels. Chaque pixel est un microbolomètre d'une taille comprise entre 12 x 12 et 35 x 35  $\mu\text{m}^2$ . Ces récepteurs thermiques de 150 nanomètres d'épaisseur sont chauffés par le rayonnement thermique en

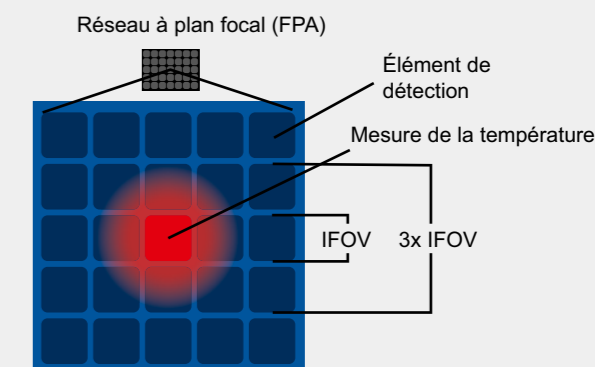


Figure 2:

l'espace de 10 ms, à raison d'environ un cinquième de la différence de température entre l'objet et sa propre température.

Cette sensibilité élevée est obtenue grâce à une capacité thermique extrêmement faible associée à une excellente isolation par rapport à l'environnement sous vide. L'absorptivité de la surface réceptrice partiellement transparente est augmentée par l'interférence de l'onde lumineuse transmise qui est ensuite réfléchie sur la surface de la puce de silicium avec l'onde lumineuse suivante. [3]

Pour utiliser cet effet d'interférence inhérent, la surface du bolomètre, qui se compose d'oxyde de vanadium ou de silicium amorphe, doit être positionnée à l'aide de techniques de gravure spéciales à une distance d'environ 2  $\mu\text{m}$  du circuit de lecture. La détectivité spécifique liée à la surface et à la largeur de bande des FPA décrits ici atteint des valeurs d'environ 109  $\text{cm}^2 \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$ . Ils sont donc un ordre de grandeur plus sensible que d'autres capteurs thermiques, comme ceux utilisés par exemple dans les pyromètres.

La température du bolomètre modifie à son tour sa résistance, qui est convertie en un signal de tension électrique. Des convertisseurs A/N rapides de 14 bits numérisent le signal vidéo préalablement amplifié et sérialisé. Un processeur de signal numérique calcule les valeurs de température pour chaque pixel et produit en temps réel l'image en fausses couleurs bien connue. Les caméras infrarouges nécessitent un étalonnage assez complexe, où une série de valeurs de sensibilité est attribuée à chaque pixel à différentes températures de la puce ou du corps noir. Pour augmenter la précision des mesures, les APF des bolomètres sont thermostatés à des températures définies avec une grande précision de contrôle.

Grâce au développement d'ordinateurs portables, de net-books, de tablettes PC et de smartphones toujours plus puissants, plus petits et en même temps moins coûteux, il est désormais possible d'utiliser leur

- Grands écrans pour afficher des images thermiques,
- Batteries Li-ion optimisées pour l'alimentation électrique,
- Puissance de calcul pour une présentation flexible et de haute qualité des signaux en temps réel,
- Capacité de stockage pour l'enregistrement vidéo d'imagerie thermique actuellement pratiquement illimité ainsi que
- Interfaces Ethernet, Bluetooth, Wi-Fi et logicielles pour intégrer le système de thermographie dans l'environnement applicatif.

L'interface USB 2.0 standardisée et universellement disponible permet des taux de transfert de données de e. g.

- 32 Hz avec une résolution de 640x480 pixels,
- 125 Hz avec 640 x 120 pixels (mode subframe)
- 1 kHz avec 72 x 56 Pixels

La technologie USB 3.0 est même adaptée aux résolutions d'imagerie thermique XGA jusqu'à une fréquence vidéo de 100 Hz. En utilisant le principe de la webcam dans l'imagerie thermographique, des fonctionnalités de produit entièrement nouvelles sont disponibles avec un rapport prix/performance considérablement amélioré.

Ici, la caméra infrarouge est connectée via l'interface 480 MBaud à l'ordinateur basé sur Windows, qui fournit en même temps une alimentation électrique.

## Le matériel des caméras infrarouges USB

La gamme Compact est une fusion de pyromètres robustes et compacts avec des caméras IR modernes. L'une des particularités de cette caméra à petit budget est la possibilité de régler le point focal à distance à l'aide d'un moteur de mise au point et d'intégrer la caméra de manière autonome – sans ordinateur de processus – dans le processus via une sortie analogique. La nouveauté ici est qu'un hotspot peut également être émis sous forme de sortie analogique.

Les caméras infrarouges USB modernes unifient les avantages des pyromètres compacts et robustes et des caméras infrarouges compactes. En plus d'une option de réglage à distance du point focal via le moteur de mise au point intégré, ces caméras peuvent également fonctionner de manière autonome – c'est-à-dire. e. sans ordinateur de processus. La caméra infrarouge calcule ensuite elle-même le point chaud dans le champ d'objet enregistré, par exemple, et est donc capable de suivre des objets en mouvement. La température calculée de l'objet suivi est émise directement sous forme de signal analogique 0/4-20 mA.



Caméras infrarouges jusqu'à 640x480 pixels et 1.000 Hz

Dans le passé, l'USB était une interface de communication purement bureautique. L'utilisation généralisée de ce standard d'interface par rapport à FireWire a initié de nombreux développements, qui ont considérablement amélioré les capacités industrielles de l'interface et donc la convivialité des périphériques USB 2.0.

### Ceux-ci inclus:

- Compatible avec des câbles traînants pouvant être utilisés jusqu'à 200 °C avec des longueurs de câble allant jusqu'à 10 m. [4]
- Jusqu'à 100 m Réf. 6 (Ethernet) – via un convertisseur USB vers GigE (compatible PoE)
- Modems Ethernet à fibre optique pour des longueurs de câble jusqu'à 10 km

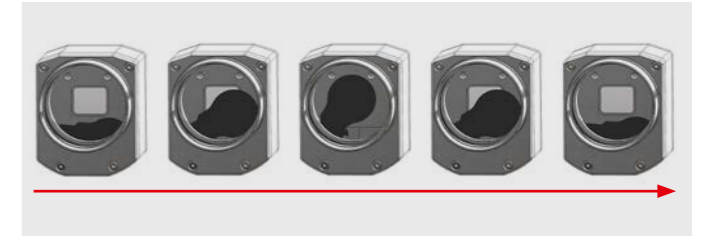
Grâce à la bande passante élevée du bus USB, cinq caméras infrarouges 120 Hz peuvent par exemple être connectées à un ordinateur portable à l'aide d'un hub standard via un câble Ethernet de 100 m.

Les appareils d'imagerie thermique étanches, résistants aux vibrations et aux chocs sont conformes à la classe de protection IP 67 et conviennent donc également pour une utilisation dans des applications robustes sur bancs d'essai et d'inspection. Les dimensions de 45 x 45 x 60-75 mm<sup>3</sup> et 195 g réduisent considérablement le coût des boîtiers refroidis et des unités de purge d'air.

En raison de la dérive thermique des bolomètres et de leur traitement du signal intégré, toutes les caméras infrarouges de mesure vendues dans le monde nécessitent une correction de décalage à certains intervalles de temps. Une pièce métallique recouverte de noir est déplacée à cet effet devant le capteur d'image par un moteur. Cela fait référence à chaque élément de l'image avec la même température connue. Naturellement, lors de ce type d'étalonnage offset, les caméras thermiques sont aveugles. Pour minimiser cet effet, la correction du décalage peut être initiée à un moment approprié à l'aide d'une broche de commande externe. Dans le même temps, les caméras ont été conçues de telle manière que la durée de l'étalonnage automatique soit aussi courte que possible.

L'installation d'actionneurs suffisamment rapides permet un référencement automatique en 250 ms avec les caméras infrarouges USB. Ceci est comparable à la durée de fermeture et d'ouverture d'une paupière et est donc acceptable pour de nombreux processus de mesure. Avec des processus continus, où des points chauds soudains doivent être détectés, de « bonnes » images de référence générées à proximité les unes des autres peuvent souvent être utilisées dans le cadre d'une mesure d'image différentielle dynamique. Cela permet un fonctionnement continu sans élément mécaniquement mobile.

En particulier lors de l'utilisation de caméras sensibles au spectre des ondes longues dans la technologie de traitement au la-



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

ser CO<sub>2</sub> de 10,6 µm, la possibilité d'une fermeture contrôlée de l'extérieur du canal optique tout en disposant en même temps de signaux indépendants de l'état de fonctionnement protégé optomécaniquement de la caméra s'est avérée bien prouvée. Il existe également des filtres spéciaux bloquant le CO<sub>2</sub>, qui permettent également de mesurer la température à l'aide de ces caméras infrarouges, même avec un laser CO<sub>2</sub> actif.

Pour les lasers d'usinage qui fonctionnent dans la plage de 900 nm à 2,6 µm, des caméras IR à ondes longues peuvent être utilisées sans filtres supplémentaires, car le bon effet de blocage du filtre spectral sur le détecteur est suffisant. En cas de températures de processus plus élevées et de surfaces métalliques, il est préférable d'utiliser des caméras à ondes courtes. Une sensibilité spectrale à bande étroite à 800 nm ou 500 nm permet également l'utilisation de ces systèmes de caméra sans filtre de blocage supplémentaire.

### Les principaux domaines d'application des appareils d'imagerie thermique décrits ici sont :

- Analyse des processus thermiques dynamiques dans le développement de produits et de processus.
- Applications stationnaires pour l'observation et le contrôle continus des processus thermiques.
- Utilisation occasionnelle comme appareil de mesure portable dans le secteur de la maintenance et pour la détection de fuites thermiques. Une application Android simple à utiliser permet d'utiliser les caméras industrielles compactes avec un téléphone intelligent.

Pour une utilisation dans le secteur R&D, l'option d'enregistrement vidéo avec une fréquence d'image élevée s'est avérée avantageuse. Cela permet d'analyser ultérieurement dans le logiciel les processus thermiques qui ne se trouvent dans le champ de vision de la caméra que pendant une courte période. Cela permet d'extraire des images individuelles de ce type de séquence vidéo avec une résolution géométrique et thermique complète. De plus, les lentilles interchangeables – y compris une lentille microscopique – permettent de nombreuses options pour adapter l'appareil aux différentes tâches de mesure : alors que les lentilles 6° sont plus adaptées à l'observation des détails à grande distance, avec une lentille microscopique, les objets peuvent être mesurés avec un angle géométrique. résolution de 28 µm<sup>2</sup>.

Dans le cas d'installations fixes de caméras infrarouges USB, l'interface de traitement à séparation galvanique devient un avantage, car les informations sur la température générées par l'image thermique peuvent être transmises sous forme de signaux 0/4-20 mA ou 0-10 V. En outre, les émissivités liées à la surface ou les mesures de température de référence sans contact ou avec contact peuvent être introduites dans le système de caméra par le biais d'une entrée de tension. Pour une documentation de qualité, une entrée numérique supplémentaire peut déclencher des instantanés d'images ou des séquences vidéo. Ce type d'images thermiques liées à des produits individuels peut également être stocké automatiquement sur des serveurs centraux.



Mikroscopie optique PI 640i pour l'inspection des circuits imprimés

## 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 effectués directement sur PC. La qualité impressionnante de l'image dès la résolution de 20.000 pixels est rendue possible par l'usage d'algorithme et de logiciel 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 paramètres 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).

## Les accessoires industriels permettent de nombreuses applications

Pour pouvoir utiliser la technologie de mesure infrarouge moderne dans l'industrie mondiale, des accessoires appropriés sont nécessaires. Outre les câbles (haute température) et les convertisseurs d'interface obligatoires (par exemple de l'USB à l'Ethernet), il s'agit notamment de boîtiers de protection pour les environnements robustes, qui permettent d'utiliser les caméras à des températures ambiantes allant jusqu'à 250° C ou 315° C.

Pour une utilisation en extérieur, des boîtiers chauffants spéciaux sont disponibles. Ils permettent d'utiliser les caméras dans une large gamme de conditions climatiques allant de -40° C à +50° C.

Des colliers de purge d'air laminaire, qui empêchent la condensation et les dépôts de poussière sur les systèmes optiques de la caméra, et des fenêtres de protection, qui peuvent être combinés avec des caissons de protection et de refroidissement, complètent la gamme d'accessoires. Pour les conditions atmosphériques extrêmement difficiles ou lorsque des pièces peuvent heurter la caméra, un obturateur (volet à fermeture servocommandée) assure une protection fiable de l'optique de la caméra.



Refroidissement à l'eau avec obturateur pour la série Xi



Boîtier de protection extérieure avec caméra infrarouge de la série PI



Refroidissement à l'eau et purge d'air pour les caméras infrarouges de la série Xi

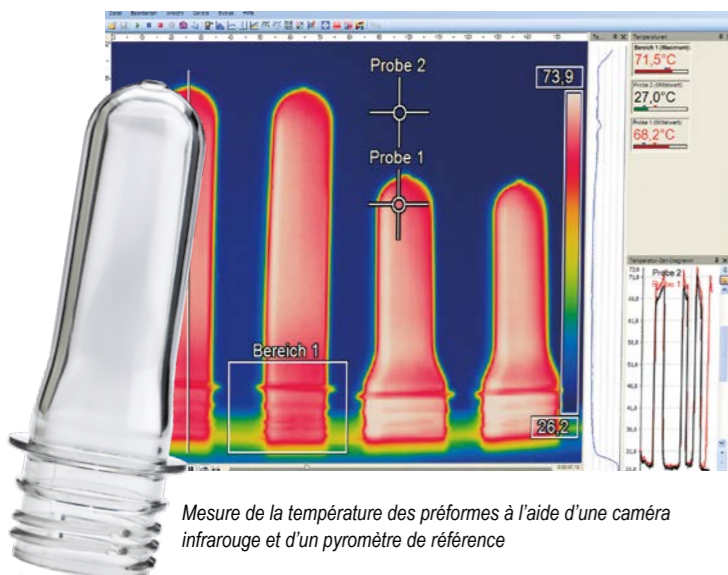
## Applications

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.

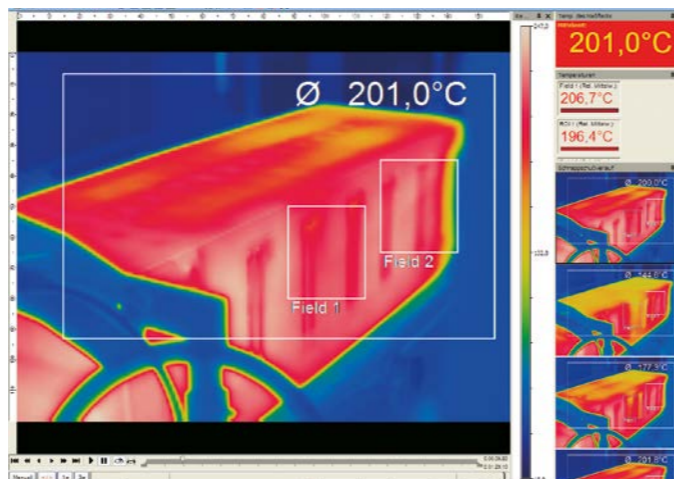
Pour mesurer le profil de température de la préforme, la



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



Exemples de différentes options de vidéo IR et d'analyse d'images

façon qu'un oscilloscope peut assurer l'analyse de signaux électroniques, la caméra vidéo IR est un outils pertinent de qualification des procédés thermodynamiques.

### 2. From fire protection to quality control – infrared cameras monitor planing systems

A whole range of products is machined on modern planing systems. If parts on these types of machines become too hot, in the worst case this could lead to the shavings igniting and resulting in a fire. The infrared cameras detect overheated parts immediately thereby removing the risk of fire effectively.



Logiciel PIX Connect pour l'observation des raboteuses. Image : binderholz

However infrared technology can do more: Scorching caused by excessive contact pressure on the wood is minimized.

When manufacturing rough sawn solid wood parts, today multi-side planing machines are used, where the wood is smoothed, planed and if necessary profiled. One machine has multiple spindles, which machine the workpiece in a continuous run from all sides. During the process, the wood moves at a speed of up to 3.4 meters per second through the planing line. Linear

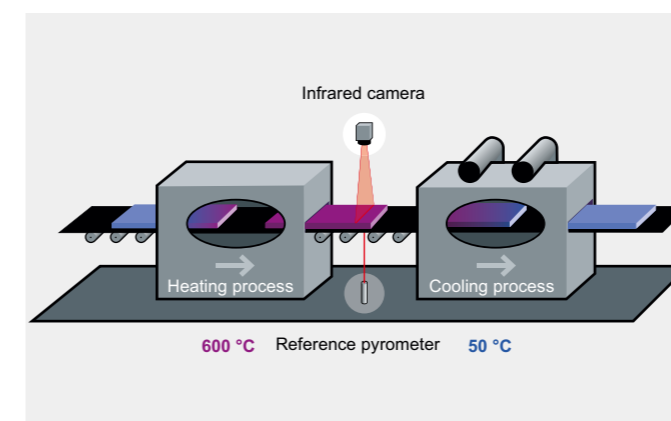
guides and pressure shoes push the wood parts against the spindles. If the pressure is too high, the inlet guides overheat due to excessive friction, which can lead to a fire in the worst case. Drive technology components, such as gearboxes, motors and driveshafts can also overheat.

The monitoring of temperatures on the planing lines also offers the possibility, to evaluate the temperature of the wood surface, which can become extremely warm depending on the contact pressure. The resulting discolorations and scorch marks affect the quality of the end product. Thanks to non-contact temperature monitoring directly in machine, the scrap rate can be reduced.

If damage is detected at an early stage of the machine and on the wood, maintenance team and production teams can replace the corresponding parts or optimize the process, before damage occurs. In this way a breakdown with a longer period of lost production as well as poor quality wooden parts is avoided.

### 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.



Mesure de l'image thermique sur une ligne de trempe du verre avec une caméra IR et un pyromètre de référence.

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.

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. Mesure de la température sur de minuscules composants dans le développement électronique

Dans le développement de l'électronique, une tendance claire a été observée ces dernières années : les appareils deviennent nettement plus puissants et en même temps la densité d'emballage augmente. En conséquence, lors du développement, les problèmes thermiques doivent être traités avec le même soin. La technologie moderne de mesure infrarouge constitue ici une aide importante. La plus grande densité d'intégration conduit au fait que la quantité de chaleur résultant des pertes de puissance dans les composants devient de plus en plus grande. En outre, il existe une tendance à la miniaturisation continue, qui peut entraver une évacuation efficace de la chaleur. La durée de vie des composants semi-conducteurs dépend cependant fortement de la température, ce qui fait du comportement thermique des cartes et des assemblages un problème important.

La technologie de mesure infrarouge fonctionne rapidement, avec précision et – ce qui est particulièrement important pour la fabrication électronique – sans contact avec l'objet. Afin d'enregistrer en toute sécurité les températures, même sur de très petits composants et structures sur un circuit imprimé, une caméra infrarouge avec une résolution suffisamment élevée est nécessaire. Cet exemple permet de détecter avec précision quel composant d'un circuit imprimé présente des températures excessivement élevées.

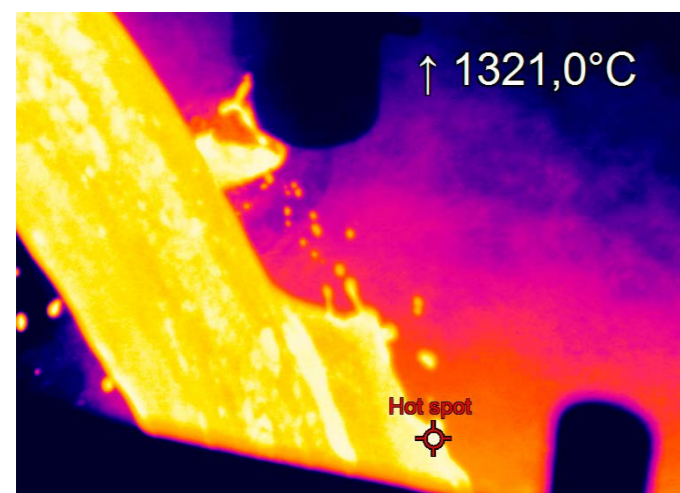
Les caméras infrarouges sont utilisées dans différentes phases du développement électronique : en amont avec les calculs du modèle thermique, en production et lors de l'inspection finale dans le cadre de l'assurance qualité.



Optique du microscope Xi 400 pour l'analyse des plus petits composants

## 5. Garder la température de la masse fondue sous contrôle

Le coulage des métaux est l'un des processus de moulage les plus importants dans l'industrie de transformation des métaux. Comme dans la plupart des processus de production en série, les solutions automatisées sont aujourd'hui également de plus en plus utilisées dans la technologie de coulée. Par exemple, avec les machines de coulée en poche, la technologie de mesure de la température infrarouge est utilisée pour surveiller la température de la masse fondue pendant la coulée.



Grâce à la plage de mesure continue de 900 à 2450 °C, le PI 05M est particulièrement adapté à la mesure de la température des métaux en fusion.

Entre autres choses, la qualité du processus de coulée dépend fortement de la température de la masse fondue. Traditionnellement, il est dosé dans le four de fusion à induction avant d'être versé dans la poche de coulée. Malgré le changement rapide de la poche et la faible perte de température dans la poche pendant le transport, la température est à nouveau déterminée pendant le processus de coulée lui-même à l'aide d'une caméra infrarouge. Une température trop basse dans la matière fondue entraînerait incontestablement des problèmes de qualité de la pièce à usiner.

La caméra IR PI 05M a une résolution optique de 764 x 480 pixels et permet un taux de rafraîchissement d'image allant jusqu'à 1 kHz. Il dispose également d'une fonction très utile pour cette application : la température la plus élevée dans l'image – le point chaud – peut être automatiquement calculée et conservée grâce à une fonction « Peak Hold ». La fumée ou la vapeur générée lors de la coulée ne pose également aucun problème pour la mesure de la température de la caméra.

## 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.

## Thermomètres sans contact et applications

La détection ponctuelle des températures de surface est la "mère de la technologie de mesure infrarouge". Les thermomètres ou pyromètres infrarouges peuvent être utilisés dans un large éventail de secteurs en raison de leurs différentes technologies laser et de leurs filtres. Souvent, il suffit de contrôler un processus complet à l'aide d'une mesure ponctuelle. Dans ce cas, le rapport prix/perfor

### Thermomètre infrarouges en ligne Série compacte et performante

Les thermomètres infrarouges fixes sont souvent utilisés pour le contrôle qualité dans les lignes de fabrication. Outre la mesure de la température sans contact et l'affichage des données de mesure, il est également possible de contrôler les températures du processus.

La large gamme de possibilités d'adaptation des pyromètres au problème de mesure permet à la fois une mise à niveau simple des systèmes de production existants et un équipement évolutif de nouvelles installations en étroite collaboration avec les clients OEM du secteur de la construction mécanique. Un large éventail d'applications peut être trouvé :

#### 1. Mesures de température lors du durcissement par induction

Le traitement thermique dans la transformation des métaux joue aujourd'hui un rôle important. Grâce à un traitement thermique ciblé des métaux, des propriétés telles que la

résistance à la corrosion, le magnétisme, la dureté, la ductilité, la résistance à l'usure et le comportement à la rupture peuvent être influencés.

Une version du traitement thermique est le durcissement par induction. Ici, un composant est placé dans un champ alternatif puissant, ce qui le réchauffe, après quoi il peut être « gelé » dans la structure souhaitée. En contrôlant la fréquence, il est possible d'ajuster la profondeur de pénétration locale de la chaleur dans le matériau, traitant ainsi des zones spécifiques du composant. La structure matérielle souhaitée du métal dépend du profil température-temps optimal. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de surveiller en permanence la température.

En raison des champs électromagnétiques puissants, les lasers CT 1M, 2M ou 3M sont particulièrement adaptés, car l'équipement électronique est retiré de la tête de mesure et peut donc être bien protégé contre les rayonnements.



CTlaser

## 2. Contrôle précis de la température pour la fabrication de pièces plastiques innovantes



CT LT - Tête de mesure avec dispositif de purge d'air laminaire dans une machine de thermoformage

Les plastiques jouent un rôle majeur dans de nombreux secteurs. En particulier pour les domaines d'application difficiles tels que l'ingénierie automobile, de nouvelles techniques de fabrication et de nouvelles combinaisons de matériaux sont constamment mises au point. Les thermoplastiques renforcés de fibres sans fin en sont un exemple typique. Les composants sont solides, peuvent avoir des géométries complexes et, malgré cela, ont un faible poids. Dans le même temps, le processus permet d'obtenir des temps de cycle courts, ce qui est particulièrement important pour la production de masse en grandes quantités.

Ils sont d'abord chauffés, puis formés dans la géométrie souhaitée par un processus de thermoformage. Le facteur décisif pour l'ensemble du processus est d'obtenir une distribution de la température de surface aussi uniforme que possible. Les régulateurs de température traditionnels sont ici à la limite de leurs possibilités. Des pyromètres de type CT LT 22 sont utilisés. Les arguments décisifs en faveur de ce thermomètre IR ont été sa compacité, la possibilité d'utiliser l'appareil à des températures ambiantes élevées, jusqu'à 180° C, et l'adaptation individuelle à l'application grâce aux accessoires industriels - dans ce cas, un collier de purge d'air. Selon l'entreprise, les appareils de mesure n'ont pas connu de défaillance depuis plus de 10 ans.



Tête de capteur CS

## 3. Contrôle de la température de la bande de papier et de l'application de colle lors de la production de cartons composites



Mesure de la température par infrarouge dans la production de papier et de carton

Les vitesses de production élevées de la bande dans les machines modernes de pelliculage du papier exigent un contrôle précis et rapide de la température du papier, de l'adhésif et du produit de base à pelliculer. Ce n'est qu'en respectant exactement les conditions de température déterminées par la technologie entre les composants du produit que l'on obtient un pelliculage exact et sans distorsion.

La surveillance et le contrôle de la température des rouleaux à l'aide de capteurs de température infrarouges miniaturisés situés à des points de mesure définis, transversalement au mouvement de la bande sur le rouleau de pression et sur le rouleau d'application de colle, permettent d'obtenir une grande uniformité du pelliculage. Des dispositifs de purge et de nettoyage de l'air sur le canal optique des capteurs infrarouges permettent d'effectuer des mesures sans entretien. Le traitement intelligent des données fournies par les capteurs infrarouges situés au bord de la bande permet également le réglage géométrique de l'équipement d'application de la colle.



CSmicro

## 4. Les thermomètres infrarouges contrôlent le processus d'assemblage



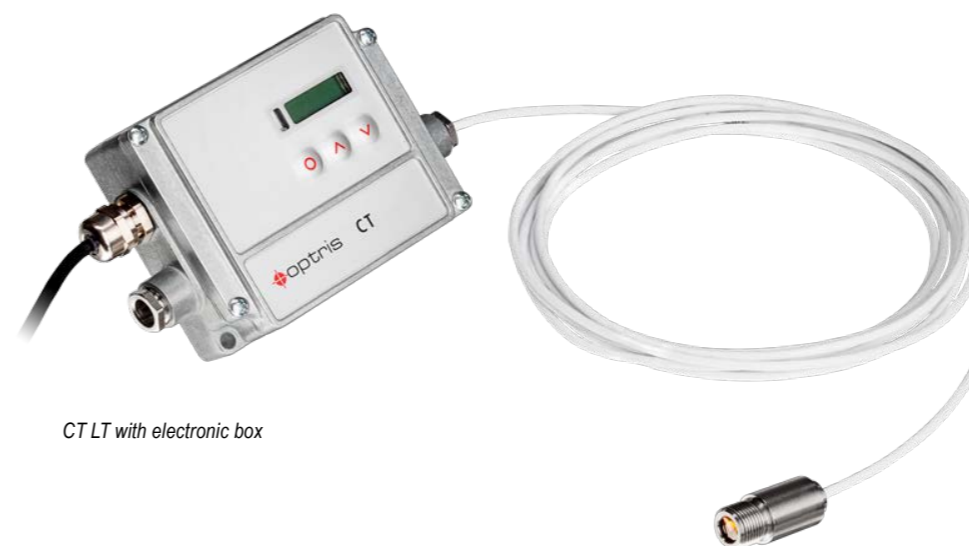
Mesure de la température par infrarouge dans les machines d'emballage

Lors du collage de composants composés de matériaux divers - y compris de types différents - le processus de durcissement est un élément très important. Il consomme du capital, prend beaucoup de temps et, surtout, est essentiel pour la qualité des produits assemblés. Les exigences relatives aux systèmes de mesure et de contrôle correspondants sont de plus en plus élevées et reposent de plus en plus sur le contrôle de la température au moyen de la technologie de mesure infrarouge.

La température est l'une des valeurs physiques les plus importantes lors du collage. Si elle est trop basse, l'adhésif devient cassant. Si elle est trop élevée, le matériau peut se ramollir, voire fondre ou se dégrader. En utilisant différentes longueurs d'onde d'un corps rayonnant infrarouge, la température de l'adhésif peut être contrôlée à travers les composants. Le rayonnement à ondes courtes pénètre profondément dans les matériaux solides et assure un chauffage uniforme.

La température des composants est déterminée par une mesure sans contact à l'aide d'un thermomètre infrarouge de type CT LT. Associés à des régulateurs de température électroniques PID, les radiateurs infrarouges émettent des cycles et des impulsions à des températures exactes dans les fréquences calculées, transmettant ainsi l'énergie avec une densité de puissance optimale dans les adhésifs sans endommager la pièce.

Le respect des paramètres "distribution de la température" et "profondeur de pénétration de l'énergie" garantit un contrôle optimal de la température.



CT LT with electronic box





Vous trouverez ci-dessous un extrait de notre encyclopédie en ligne, qui peut être consultée à l'adresse suivante [www.optris.com/fr/support/lexique](http://www.optris.com/fr/support/lexique)

## Thermomètres infrarouges portables

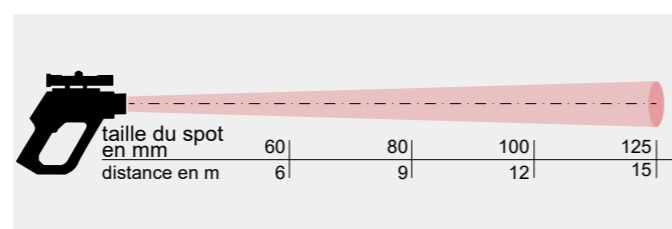


Mesure détaillée de la température infrarouge d'une masse fondue dans l'installation de coulée avec le P20 05M.

Les thermomètres infrarouges portables (également appelés thermomètres laser) sont principalement utilisés pour la mesure sporadique et localisée de la température dans le cadre de la maintenance préventive. Les domaines d'application comprennent l'inspection des systèmes électriques, des machines tournantes ainsi que des outils de diagnostic dans la technologie du chauffage, de la ventilation et de la climatisation. Ils sont également utilisés pour l'analyse rapide des défauts dans le secteur automobile.

Qu'ils soient utilisés à l'intérieur ou à l'extérieur, au soleil, sous la pluie ou à des températures variables, ces appareils - contrairement aux thermomètres bon marché pour bricoleurs - sont faciles à utiliser.

Les thermomètres portables sont également disponibles dans différentes gammes spectrales. Outre la zone des ondes longues (8 à 14  $\mu\text{m}$ ), il s'agit en particulier des zones des ondes courtes (525 nm, 1  $\mu\text{m}$  et 1,6  $\mu\text{m}$ ). Les thermomètres IR à ondes courtes sont notamment utilisés dans le monde entier dans l'industrie métallurgique. Ils peuvent mesurer des objets jusqu'à 2000°C avec une résolution optique allant jusqu'à 300:1, ce qui convient parfaitement au métal (fondu).



Rapport entre la distance et la taille du spot 120:1



Thermomètre infrarouge portable P20 05M

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 ( $\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$ ).
Rayonnement spécifique	Énergie émise par un objet par rapport aux unités de temps et de surface ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).
Rayonnement	Énergie émise par un objet par rapport au temps, à la surface et à un angle solide ( $\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$ ).
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.

# Annexe : tableau d'émissivité

De plus amples informations concernant la table d'émissivité ou notre logiciel PIX Connect sont disponibles sur notre chaîne Youtube et notre site web : [www.optris.com/fr](http://www.optris.com/fr)



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 <sub>3</sub> , 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 <sub>2</sub>	1230	T	0,66	1
Brique	sillimanite, 33 % SiO <sub>2</sub> , 64 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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

when temperature matters

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
Feuilles de vitrages	8 couleurs et qualités différentes	70	LW	0,92–0,94	9
Feuilles de vitrages	9 couleurs et qualités différentes	70	SW	0,88–0,96	9
Feuilles de vitrages	aluminium, différents âges	50–100	T	0,27–0,67	1
Feuilles de vitrages	à base d'huile, moyenne de 16 couleurs	100	T	0,94	2
Feuilles de vitrages	chrome vert		T	0,65–0,70	1
Feuilles de vitrages	cadmium jaune		T	0,28–0,33	1
Feuilles de vitrages	bleu cobalt		T	0,7–0,8	1

Matériau	Spécification	Température in °C	Spectre	Émissivité	R
Feuilles de vitrages	plastique, noir	20	SW	0,95	6
Feuilles de vitrages	plastique, blanc	20	SW	0,84	6
Feuilles de vitrages	huile	17	SW	0,87	5
Feuilles de vitrages	huile, différentes couleurs	100	T	0,92–0,96	1
Feuilles de vitrages	huile, gris brillant	20	SW	0,96	6
Feuilles de vitrages	huile, gris, mat	20	SW	0,97	6
Feuilles de vitrages	huile, noir, mat	20	SW	0,94	6
Feuilles 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

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, émoussé, structuré	70	LW	0,93	9
Plastique	PVC, fond en plastique, émoussé, 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, émoussé	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	émoussé	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: [www.optris.com/fr/calculateur-optris](http://www.optris.com/fr/calculateur-optris)

## 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 trouverez un aperçu des données techniques de tous les produits Optris dans notre brochure produit produits :

[www.optris.com/fr/support/telechargements](http://www.optris.com/fr/support/telechargements)


## Littérature

### Références

- [1] IEC/TS 62492-1 : Dispositifs de contrôle des processus industriels. Thermomètres à rayonnement. Caractéristiques techniques des thermomètres à rayonnement.
- [2] IEC/TS 62492-2 : Dispositifs de contrôle des processus industriels - Thermomètres à rayonnement - Partie 2: Détermination des caractéristiques techniques des thermomètres à rayonnement.
- [3] Directive VDI pour les imageurs IR, directive VDI 5585, Feuille 1 .
- [4] Directives VDI pour les pyromètres, directive VDI 3511, Feuille 4 / 4.2 / 4.4 / 4.5 / 4.6.
- [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.

### Littérature recommandée

1. Directive VDI/VDE, Mesures techniques de température. Spécification des thermomètres à rayonnement, juin 2001, VDI 3511 feuille 4.1
2. Stahl, Miosga : Bases de la technique infrarouge, Heidelberg 1980, (Dr. Alfred Hütthig Verlag)
3. Walther, Herrmann: Wissensspeicher Infrarotmesstechnik, Leipzig 1990. (Fachbuchverlag Leipzig)
4. Walther, L., Gerber, D.: Infrarotmesstechnik, Berlin 1983, (Verlag Technik Berlin)
5. De Witt, Nutter: Theory and Practice of Radiation Thermometry, New York 1988. (John Wiley & Son, ISBN: 0-471-61018-6.)
6. Wolfe, Zissis: The Infrared Handbook, Washington DC 1978, Office of Naval Research, Department of the Navy.
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, Florida 2006. (JCD Publishing Winter Park. ISBN: 0-8194-6179-2)
9. Kienitz, Ulrich: Wärmebildtechnik als moderne Form der Pyrometrie, in: tm – Technisches Messen 2014; 81(3), S. 107–113.
10. Vollmer, Michael/ Möllmann, Klaus-Peter: Infrared Thermal Imaging. Fundamentals, Research and Applications, Weinheim 2010. (Wiley-VCH Verlag, ISBN: 978-3-527-40717-0)
11. Lexique en ligne de la mesure de température sans contact : [www.optris.com/fr/support/lexique](http://www.optris.com/fr/support/lexique)

 [linkedin.com/company/optris](https://www.linkedin.com/company/optris)

 [youtube.com/@Optris](https://www.youtube.com/@Optris)

 [twitter.com/optris](https://twitter.com/optris)

 [facebook.com/optris.gmbh](https://www.facebook.com/optris.gmbh)

when temperature matters

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