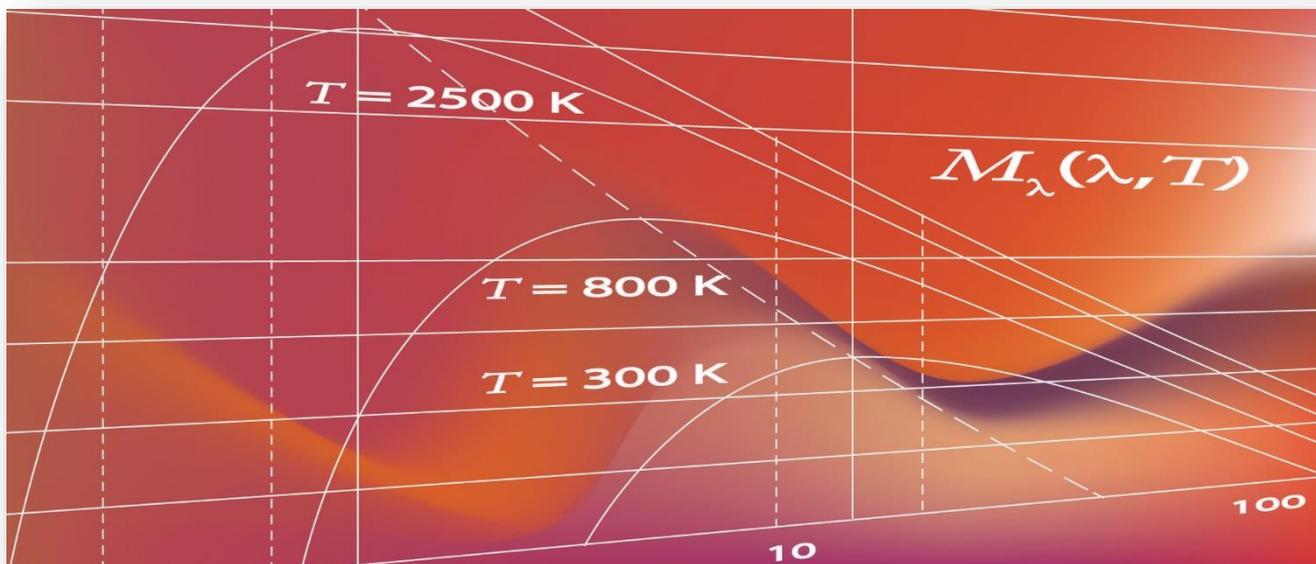


Principes de la mesure de température sans contact



Théorie de l'infrarouge



Sommaire

| | |
|--|-----------|
| SOMMAIRE | 4 |
| 1 INTRODUCTION | 6 |
| 2 DECOUVERTE DU RAYONNEMENT INFRAROUGE | 6 |
| 3 QUELS SONT LES AVANTAGES DE LA MESURE DE TEMPERATURE SANS CONTACT ? | 6 |
| 4 SYSTEME INFRAROUGE | 7 |
| 4.1 La cible..... | 7 |
| 4.1.1 Détermination de l'émissivité..... | 9 |
| 4.1.2 Mesure des métaux..... | 10 |
| 4.1.3 Mesure des plastiques..... | 10 |
| 4.1.4 Mesure du verre | 10 |
| 4.2 Conditions ambiantes | 11 |
| 4.3 Optiques et fenêtres | 13 |
| 4.4 Systèmes de visée | 15 |
| 4.5 Détecteurs..... | 16 |
| 4.6 Affichage et interfaces | 16 |
| 4.7 Caractéristiques techniques des pyromètres infrarouges | 17 |
| 4.8 Etalonnage | 18 |
| 5 PYROMETRES SPECIAUX..... | 19 |
| 5.1 Pyromètres à fibre optique | 19 |
| 5.2 Pyromètres bichromatiques (2 couleurs)..... | 19 |
| 5.3 Systèmes d'imagerie infrarouge..... | 21 |
| 5.3.1 Scanners en ligne IR..... | 21 |
| 5.3.2 Cameras thermiques à matrice | 22 |
| 6 RESUME | 23 |
| 7 BIBLIOGRAPHIE | 24 |

1 Introduction

Ce document est écrit à l'attention des personnes qui ne sont pas très familières de la mesure de température sans contact par infrarouge. Une attention particulière a été apportée afin de présenter le sujet d'une manière aussi simple et concise que possible. Les lecteurs intéressés par une étude plus approfondie trouveront des informations supplémentaires dans la bibliographie. Ce document porte essentiellement sur l'utilisation pratique des appareils de mesure par infrarouge et répond aux questions les plus courantes. Si vous pensez que votre application nécessite une aide supplémentaire, n'hésitez pas à remplir le questionnaire et à nous le retourner (voir appendice).

2 Découverte du rayonnement infrarouge

Le feu et la glace, le chaud et le froid ... les extrêmes ont toujours fascinés et défiés les hommes. Différentes techniques et différents appareils ont été utilisés à travers âges et efforts pour mesurer et comparer des températures. Par exemple, durant les premiers temps de fabrication des céramiques, la fusion de certains matériaux a été utilisée pour savoir si un seuil donné de température avait été atteint. De manière similaire, le boulanger utilisait un morceau de papier pour appréhender la température de son four. Plus rapidement le papier tournait au brun, plus chaud était le four. L'inconvénient de ces techniques est qu'elles n'étaient pas réversibles et qu'elles ne fonctionnaient que dans un sens (augmentation de la température). La précision de ces techniques dépendait grandement de l'utilisateur et de son expérience. Il fallut attendre la première moitié du XVII^e siècle pour voir le premier thermoscope capable de mesurer une température avec une certaine précision. Une évolution permit d'ajouter une échelle de température à des appareils qui au départ n'en possédaient pas. Daniel Gabriel Fahrenheit et Anders Celsius établirent entre 1724 et 1744 les deux échelles de température les plus courantes.



Fig. 1: William Herschel (1738 – 1822) découvre le rayonnement infrarouge



La découverte du rayonnement infrarouge par le physicien William Herschel au début du XIX^e siècle ouvrit la voie à la mesure de température d'une cible sans contact et donc sans interférer avec elle. En comparaison avec les premiers appareils de mesure de température sans contact lesquels étaient lourds, fragiles, compliqués à mettre en œuvre, les instruments d'aujourd'hui offrent une image totalement différente. Les pyromètres infrarouges modernes sont petits, ergonomiques, faciles à utiliser, pouvant même être installés à demeure dans les machines. Des systèmes portables très légers aux capteurs spéciaux intégrés dans les procédés de fabrication, le spectre des produits offerts est très large. Une grande variété d'accessoires et de logiciels d'acquisition ou de traitement des valeurs de mesure sont également proposés pour la majorité d'entre eux.

3 Quels sont les avantages de la mesure de température sans contact ?

La température est le paramètre physique le plus couramment mesuré après le temps. La température joue un rôle important comme indicateur d'état ou de condition d'un produit ou d'une pièce de machine tant lors de la fabrication que pour ce qui concerne le contrôle de qualité. Une mesure de température précise améliore la qualité des produits et augmente la productivité. Les temps d'arrêt sont aussi réduits en optimisant les conditions de fabrication. La technologie infrarouge n'est pas nouvelle. Elle a été utilisée avec succès dans l'industrie et la recherche depuis bien longtemps. Cependant, de nouveaux développements ont permis d'abaisser son coût, d'augmenter sa fiabilité et de réduire les dimensions des capteurs. Toutes ces améliorations permettent à la technologie infrarouge de servir pratiquement tous les types d'industrie et les besoins des clients.



Fig. 2: Pyromètre Infrarouge récent (Fluke Process Instruments: Endurance Séries)

Quels sont les avantages de la mesure de température sans contact ?

1. La rapidité (de l'ordre de la ms). Cette rapidité permet un plus grand nombre de mesures et l'acquisition de plus d'informations (Ex. : analyse thermique d'une surface).
2. Mesure de cibles en mouvement (Ex. : sur un convoyeur).
3. Mesure de cibles situées dans un environnement dangereux ou physiquement inaccessible (Ex. : haute tension, cible éloignée).
4. Mesure de températures élevées (>1300°C). La mesure de telles températures par un système à contact est le plus souvent très limitée dans le temps voir impossible.
5. L'absence de contact élimine les pertes d'énergie de la cible. Des cibles mauvaises conductrices de la chaleur tels le bois ou le plastique peuvent être mesurées avec une grande précision sans crainte d'erreur liée à une altération de la mesure par un contact.
6. La mesure sans contact est sans conséquence pour la cible. Pas de risque de contamination ou de marques laissées en surface (Ex. : les surface laquées ou revêtues ne sont ni rayées ni marquées).

Les avantages énumérés, reste la question des points importants à considérer lors de l'utilisation de pyromètre infrarouge :

1. La cible doit être en vue (visible et infrarouge) du pyromètre. Une forte concentration de fumées ou de poussières dans le chemin de visée réduira la précision. Un obstacle solide tel le récipient contenant la cible ne permettra pas la mesure.
2. L'objectif du capteur IR doit être protégé contre toutes sortes de dépôts ou de contaminations. Des accessoires sont prévus à cet effet.
3. Seule la température de surface est mesurée. L'état de cette surface peut affecter l'émissivité (voir ci-dessous) et doit être pris en compte.

Résumé

Les principaux avantages de la mesure sans contact sont la rapidité, l'absence d'interférence et la capacité de mesurer des températures élevées jusqu'à 3000°C. Garder à l'esprit que dans la plupart des cas seule la température de surface est mesurée.

4 Système infrarouge

Un pyromètre infrarouge peut être comparé à l'œil humain. Le cristallin représente le système optique à travers lequel le rayonnement (flux de photons) émis par la cible est collecté et focalisé sur la rétine où il est transformé en signal nerveux avant d'être envoyé au cerveau. La Fig. 3 illustre le fonctionnement d'un système infrarouge.

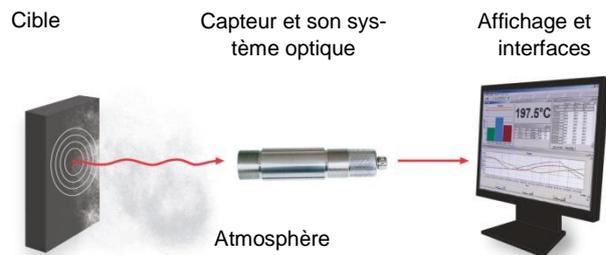


Fig. 3: Système de mesure infrarouge

4.1 La cible

A une température supérieure au zéro absolu (-273,15°C / -459,8°F / 0 K) la matière, sous quelque forme que ce soit, émet un rayonnement infrarouge en relation avec sa température. Ce phénomène est connu sous le nom de radiation caractéristique. Il est dû au mouvement interne des molécules. L'intensité de ce mouvement dépend de la température. De ce mouvement de molécules résulte un déplacement de charges responsable d'une émission électromagnétique (photons). Ces photons se déplacent à la vitesse de la lumière tout en respectant les principes optiques connus. Ils peuvent ainsi être déviés, focalisés par une lentille ou réfléchis par un miroir. Le spectre de cette émission va de 0,7 à 1000 µm (longueur d'onde). Pour cette raison, ils ne peuvent pas être vu à l'œil nu. Cette partie du spectre électromagnétique juste au-dessous du rouge du spectre visible est appelé infrarouge du latin « infra » (plus bas). Voir Fig. 4.

La Fig. 5 représente l'émission d'un corps à différentes températures. On y voit, qu'à haute température une partie du spectre émis l'est dans le visible (0,4 à 0,7 µm). Ceci explique pourquoi les corps chauds rougissent à partir de 600 °C (incandescence). Dans la sidérurgie, quelques personnes de longue expérience sont capables d'estimer la température de la fonte liquide à sa couleur. Un type de pyromètre optique dit « à disparition de filament » a été utilisé en sidérurgie et métallurgie dès les années 30.

Système infrarouge

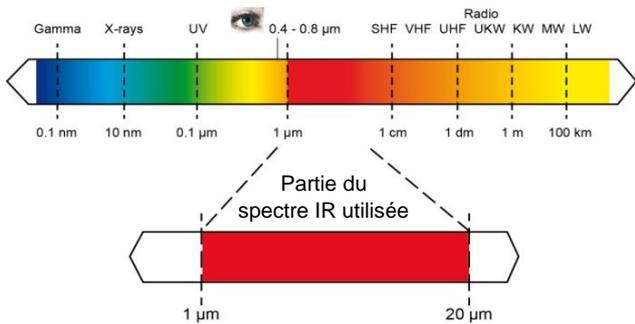


Fig. 4: Le spectre électromagnétique. Seule la partie allant de 1 à 20 µm est utilisée en mesure IR.

La part invisible du spectre contient jusqu'à 100 000 fois plus d'énergie que la part visible. La mesure infrarouge utilise cette énergie. La Fig. 5 montre également que le maximum d'énergie se déplace vers les longueurs d'onde courtes lorsque la température augmente et que les courbes ne se coupent jamais. L'énergie émise sur tout le spectre (surface située en dessous des courbes) varie comme la puissance quatre de la température. Cette relation découverte par Stefan et Boltzmann en 1879 illustre la possibilité de déterminer sans ambiguïté une température à partir du signal émis /1/, /3/, /4/, /5/

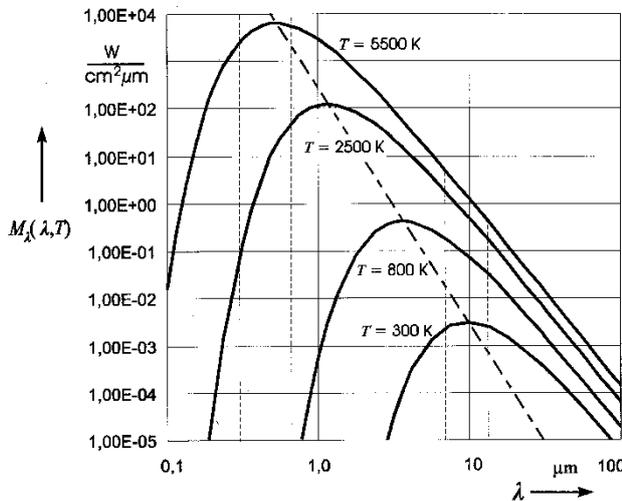


Fig. 5: Emission d'un corps noir en fonction de la température. /3/

A première vue, la Fig. 5 montre que le meilleur pyromètre IR serait celui capable de mesurer le spectre le plus large afin de capter le maximum d'énergie (correspondant à la surface située sous la courbe). Un examen plus précis montre que ce n'est pas toujours la solution la plus avantageuse. La Fig. 5 montre également que l'intensité du rayonnement augmente, pour une même augmentation de température, beaucoup plus rapidement à 2 µm qu'à 10 µm. Plus la va-

riation d'énergie est importante pour une même variation de température plus le pyromètre sera précis. Si, comme le stipule la loi de déplacement de Wien, le maximum d'énergie émise se déplace vers les longueurs d'onde courtes lorsque la température augmente il faut aussi noter qu'à ces longueurs d'onde courtes correspond très peu d'énergie lorsque la température est basse. Il en résulte que la mesure des températures basses n'est pas possible avec des longueurs d'onde courtes à cause du manque d'énergie. Une autre raison justifie d'avoir des pyromètres travaillant sur des spectres IR différents. Certains corps, connus sous le nom de « corps non gris », ont des spectres d'émission très sélectifs. La Fig. 5 montre l'émission d'un émetteur théorique parfait connu sous le nom de « corps noir ». Un corps réel émet moins qu'un corps noir à la même température. Le rapport entre l'énergie émise par un corps réel et l'énergie émise par un corps noir à la même température est appelé l'émissivité (ϵ - epsilon). L'émissivité peut ainsi varier de 1,0 (corps noir) à 0,0. Les corps présentant une émissivité constante inférieure à 1,0 sont appelés corps gris. Les corps dont l'émissivité varie avec la longueur d'onde et/ou la température sont appelés corps non gris.

Il est facile de montrer que pour un récepteur la somme des énergies Absorbée (A), Réfléchi (R) et Transmise (T) est égale à l'énergie incidente. Si on normalise cette dernière à 1 on peut alors écrire :

$$A + R + T = 1 \quad (1)$$

La plupart des corps solides ont une transmission nulle dans l'infrarouge ($T = 0$). La loi de Kirchhoff montre par ailleurs que pour un corps à l'équilibre thermique, l'émission est équivalente à l'absorption. Il est alors possible d'écrire :

$$A \leftrightarrow E = 1 - R \quad (2)$$

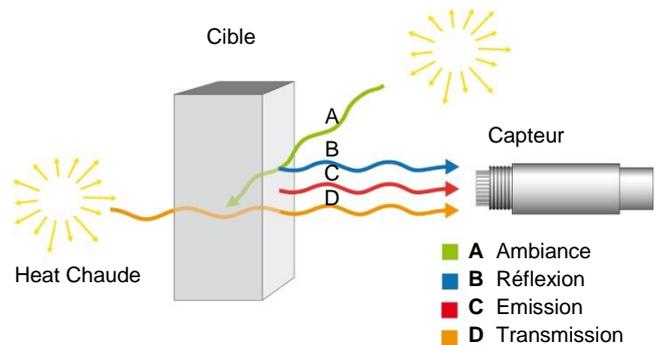


Fig. 6: En plus de l'énergie émise par la cible, le capteur peut recevoir de l'énergie réfléchi et de l'énergie transmise.

Le corps noir (émetteur parfait) ne présente aucune réflexion ($R=0$) ni transmission ($T = 0$), il s'en suit que $E = 1$

Bien des matériaux non métalliques tels le bois, le plastique, le caoutchouc, les produits organiques, la roche, le béton ont des surfaces très peu réfléchissantes. Leurs émissivités se situent entre 0,80 et 0,95. A l'opposé, les métaux et particulièrement si leur surface est polie ou brillante, ont une émissivité proche de 0,10. Cette disparité peut (et doit) être compensée sur le pyromètre IR par un réglage correct de l'émissivité. Voir Fig. 7.

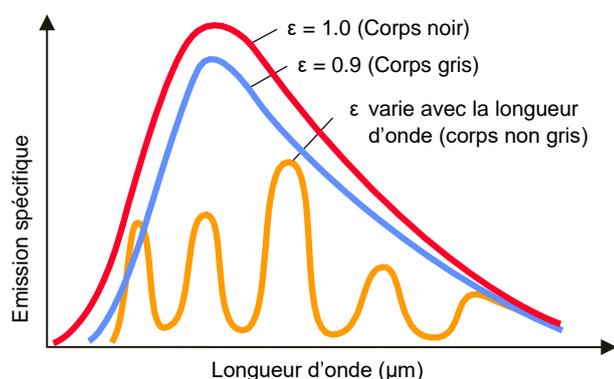


Fig. 7: Emission spécifique à différentes longueurs d'onde

4.1.1 Détermination de l'émissivité

Il existe différentes méthodes pour déterminer l'émissivité d'une cible. Il est bien sûr possible de trouver les valeurs d'émissivité des principaux matériaux dans la littérature. Les tables d'émissivités aident aussi à choisir la meilleure longueur d'onde donc le pyromètre le mieux adapté à la mesure. Il est à noter que dans le cas particulier des métaux les tables d'émissivités ne peuvent donner qu'une indication, sachant que l'état de surface (poli, oxydé, etc.) peut modifier l'émissivité plus que le type même de métal. Vous pouvez aussi déterminer l'émissivité d'un matériau par vous-même. Pour ce faire, il suffit d'un pyromètre sur lequel l'émissivité est ajustable.

1. Chauffer un échantillon de ce matériau à une température connue par un autre moyen (thermocouple par exemple). Viser l'échantillon avec le pyromètre optique et ajuster son émissivité de manière à lire la même température que celle donnée par le thermocouple. L'émissivité ainsi trouvée est celle de la cible pour les conditions du test.
2. Pour les températures basses ($<260^{\circ}\text{C}$), utiliser des pastilles adhésives à émissivité connue. Mesurer la température de la cible avec le pyromètre optique dont l'émissivité aura été préalablement ajustée sur celle de la pastille en visant cette dernière. Viser ensuite à côté de la pastille et ajuster l'émissivité du pyromètre jusqu'à obtenir la température de la cible. L'émissivité ainsi trouvée est celle de la cible pour les conditions du test.
3. Recréer les conditions du corps noir. Faire un trou dans un échantillon en veillant à ce que sa profondeur soit au minimum cinq fois son diamètre. Le diamètre devant évidemment être au minimum égal au diamètre du spot de mesure du pyromètre utilisé. Si l'émissivité des parois du trou est $\geq 0,5$, l'émissivité résultante de la cavité ainsi créée sera très proche de 1,0 (réflexions multiples) et le pyromètre, visant dans le trou, indiquera la température de l'échantillon si son réglage émissivité est calé sur 1,0. Viser ensuite à côté du trou et ajuster l'émissivité du pyromètre jusqu'à trouver la température de la cible. L'émissivité ainsi trouvée est celle de la cible pour les conditions du test.
4. Si une partie de la cible peut être « peinte », la couvrir d'un verni noir mat « 3-M Black » de la société 3M ou « Senotherm » de la société Weiburger Lackfabrik (Grebe Group)/2/, chacune présentant une émissivité proche de 0,95. Mesurer la température de la cible avec le pyromètre optique dont l'émissivité aura été préalablement ajustée sur 0,95 en visant la partie « peinte ». Viser ensuite à côté de la surface peinte et ajuster l'émissivité du pyromètre jusqu'à trouver la température

Système infrarouge

de la cible. L'émissivité ainsi trouvée est celle de la cible pour les conditions du test.

4.1.2 Mesure des métaux

L'émissivité des métaux varie beaucoup avec la longueur d'onde et dans une moindre mesure avec la température. Les surfaces métalliques sont le plus souvent assez réfléchissantes rendant les mesures peu précises. Dans de tels cas il est très important de choisir le pyromètre travaillant à la longueur d'onde et couvrant la plage de températures pour lesquels l'émissivité sera maximum. Pour la plupart des métaux, l'erreur de mesure augmente avec la longueur d'onde ce qui implique d'utiliser autant que possible la longueur d'onde la plus courte. Voir Fig. 8.

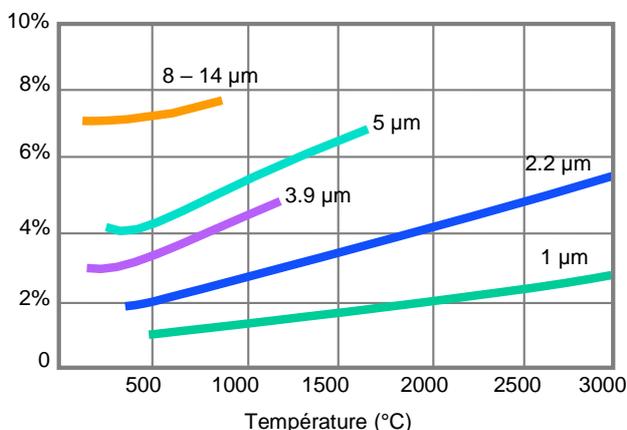


Fig. 8: Erreur de mesure causée par un écart de 10% entre la valeur vraie et la valeur ajustée de l'émissivité pour différentes longueurs d'ondes et différentes températures.

La longueur d'onde la mieux adaptée à la mesure de surfaces métalliques à température élevée se situe autour de 1,0 µm. Des longueurs d'onde plus longues telles 1,6, 2,2 ou 3,9 µm sont aussi possibles. De très bons résultats peuvent aussi être obtenus en utilisant un pyromètre bichromatique particulièrement si une échelle de température très large est requise ou si l'émissivité risque de changer avec la température.



Fig. 9: Une mesure précise et fidèle de la température assure une qualité de production constante

4.1.3 Mesure des plastiques

La transmission des films plastique varie énormément avec la longueur d'onde et proportionnellement avec l'épaisseur. La transmission diminue avec l'épaisseur. Une mesure précise ne peut être obtenue qu'en choisissant la longueur d'onde pour laquelle la transmission est la plus faible. Certains plastiques (polyéthylène, polypropylène, Nylon et polystyrène) sont opaques à 3,43 µm lorsque d'autres (polyester, polyuréthane, Téflon FEP et polyamide) le sont à 7,9 µm. Tous les films épais (>0,4 mm), particulièrement lorsqu'ils sont fortement colorés, peuvent être mesurés à 8 -14 µm.

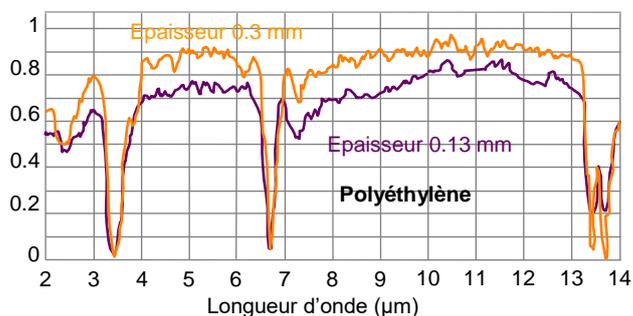


Fig. 10: Transmission spectrale des films plastique. Quelque soit son épaisseur, un film polyéthylène est opaque à 3,43 µm.

En cas de doute vous pouvez nous faire parvenir un échantillon. Nous vous conseillerons sur la longueur d'onde optimale à utiliser. Pour ce qui concerne la réflexion, elle est de l'ordre de 5% pour la majorité des plastiques.



Fig. 11: Mesure de température par infrarouge sur les lignes d'extrusion, de revêtement, de calandrage etc.

4.1.4 Mesure du verre

La mesure de température du verre oblige à considérer sa réflexion et sa transmission. Une sélection fine de la longueur d'onde permet une mesure de température de sa surface ou plus ou moins dans sa masse.

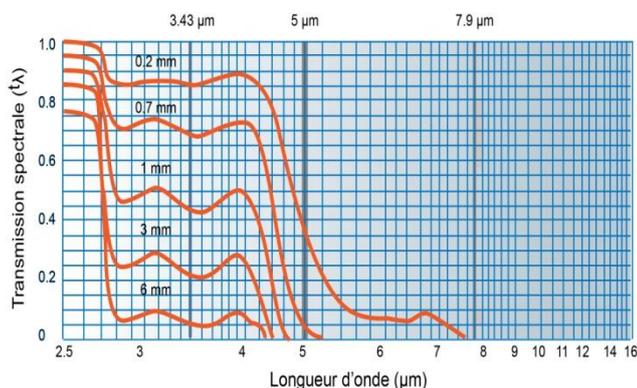


Fig. 12: La transmission spectrale du verre dépend de son épaisseur

Pour une mesure de température dans la masse, une longueur d'onde de 1,0, 2,2 ou 3,9 μm est recommandée. Pour ce qui concerne la surface, 5 μm est le plus standard. Pour des verres très minces ou pour une température de « peau » la longueur d'onde de 7,9 μm est la mieux adaptée. Sachant que le verre est plutôt mauvais conducteur de la chaleur et que sa température de surface peut varier très rapidement il est conseillé d'utiliser des pyromètres rapides.



Fig. 13: De sa phase liquide jusqu'à l'obtention du produit fini, un suivi de température précis assure l'acquisition et le maintien des propriétés souhaitées. La figure présente une ligne de trempe de feuilles de verre pour le bâtiment.

Résumé

Tous les corps émettent de l'infrarouge. Ce rayonnement n'est visible à l'œil que pour des températures supérieures à 600°C. (Ex. métal incandescent). L'infrarouge couvre le spectre 0,7 – 1000 μm. Le corps noir émet 100% de l'énergie correspondante à sa température. Pour tous les autres corps l'émission est plus faible. Le rapport de cette émission à celle du corps noir pour la même température est appelé émissivité.

4.2 Conditions ambiantes

Un autre paramètre à prendre en compte lors du choix du pyromètre est la transmission du chemin de visée (espace pyromètre – cible) qui le plus généralement est composé d'air. Certains constituants de l'atmosphère, tels la vapeur d'eau et le gaz carbonique, absorbent le rayonnement infrarouge à certaines longueurs d'onde diminuant ainsi la transmission du milieu. Si cette absorption n'est pas correctement prise en compte il en résulte une température lue inférieure à la température vraie. Par chance, il existe sur le spectre IR des « fenêtres » dans lesquelles la transmission n'est pas affectée. La Fig. 14 montre la transmission d'une couche d'air de 1 m d'épaisseur. Les fenêtres de transmission typiques sont 1,1 – 1,7 μm, 2,0 – 2,5 μm, 3,0 – 5,0 μm et 8 – 14 μm. Les fabricants de pyromètres ont intégré ces caractéristiques dans leur capteur, ce qui dispense l'utilisateur d'en tenir compte.

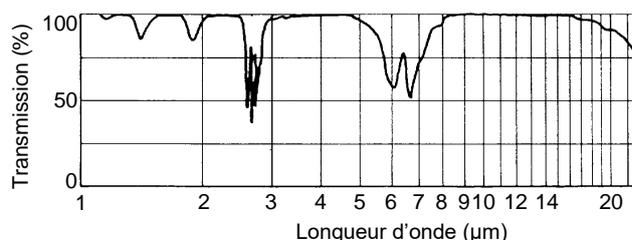


Fig. 14: Transmission spectrale d'une couche d'air de 1 m d'épaisseur à 32°C et 75% d'humidité relative. /3/

Le comportement radiatif de l'environnement de la cible doit également être pris en compte. L'énergie émise, par exemple, par les parois d'un four et réfléchi sur la cible peut causer d'importantes erreurs de mesure. Cette cause d'erreur a été considérée par la plupart des fabricants de pyromètres par l'ajout d'un circuit de compensation dans leurs capteurs. Une émissivité correctement ajustée associée à la prise en compte de la température ambiante, mesurée par un second capteur, assurent une mesure exempte de toute erreur.

Système infrarouge

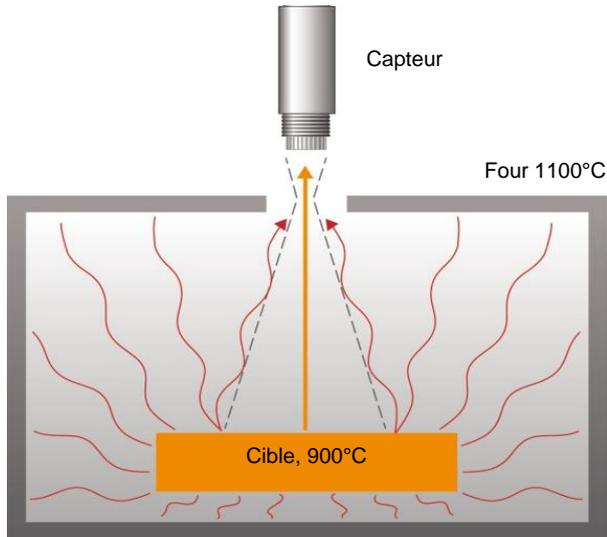


Fig. 15: La compensation de température ambiante est importante lorsque la cible est plus froide que son environnement.

Les poussières, fumées et toutes sortes de particules en suspension dans l'air peuvent contaminer le système optique et altérer la qualité de la mesure. Il est recommandé de prévenir ce type de déposition en installant un système de purge ou le balayage. Ces systèmes sont généralement connectés à un réseau d'air comprimé propre et sec. Le flux d'air empêche ou réduit les risques de contamination. Si le chemin de visée est très chargé de poussières ou de fumées il est préférable d'utiliser un pyromètre bichromatique.

Les capteurs IR sont des équipements électro-optiques qui ne fonctionnent correctement que dans une plage de température ambiante donnée. Certains d'entre eux peuvent fonctionner jusqu'à 85°C. Au-dessus de la limite autorisée il est nécessaire d'assurer leur refroidissement par des systèmes appropriés à air ou à eau. La température maximum admissible par le câble de liaison est aussi à considérer. Le refroidissement du capteur par un système à eau implique dans presque tous les cas l'utilisation d'une purge à air pour éviter tout risque de condensation sur l'optique.



Fig. 16: Le pyromètre Thermalert série 4.0 (Fluke Process Instruments) résiste à des températures ambiantes allant jusqu'à 85°C sans refroidissement supplémentaire

Résumé

| Facteurs | Solutions |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Température ambiante plus chaude que la cible | <ul style="list-style-type: none"> • Capteur avec compensation de rayonnement parasite • Ecran thermique |
| <ul style="list-style-type: none"> • Chemin de visée chargé de poussières, vapeurs ou particules | <ul style="list-style-type: none"> • Prévention des dépôts par une purge à air • Pyromètre bichromatique |
| <ul style="list-style-type: none"> • Température ambiante élevée | <ul style="list-style-type: none"> • Isolation thermique du capteur • Refroidissement à air ou à eau • Purge du système optique • Ecran thermique |

4.3 Optiques et fenêtres

Le système optique d'un pyromètre IR collecte l'énergie infrarouge émise par une surface circulaire (spot) de la cible et la focalise sur un détecteur. La cible doit totalement remplir la surface du spot sinon le détecteur « verra » une partie de l'arrière plan qui affectera la mesure. Voir Fig. 17.

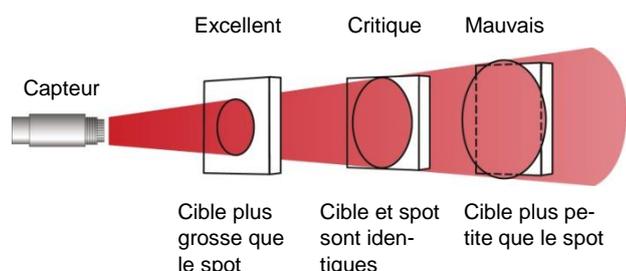


Fig. 17: La cible doit totalement remplir le spot de mesure. Dans le cas contraire la mesure sera affectée (exception : Pyromètre bichromatique)

La résolution optique est définie comme le rapport entre la distance de mesure (distance capteur – cible) et le diamètre du spot de mesure (D/S). Plus cette valeur est élevée, meilleure est la résolution optique du capteur et plus petite est la taille de la cible pouvant être mesurée à une distance de mesure donnée, voir Fig. 18.

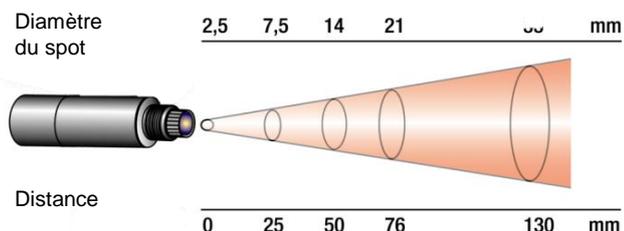


Fig. 18: Caractéristique optique d'un capteur IR. A une distance de mesure de 130 mm, le diamètre du spot de mesure est de 33 mm. Sa résolution optique est $130/33 = 4/1$

Les systèmes optiques peuvent être à miroir ou à lentilles ou un mix des deux. Les lentilles ne peuvent être utilisées que pour le domaine spectral pour lequel elles sont transparentes. Elles sont cependant le plus souvent retenues pour leur facilité d'utilisation. Généralement, les systèmes optiques sont à focale fixe. La distance de focalisation est fixée par construction et la résolution optique à cette distance est donnée dans les caractéristiques. Bien évidemment le pyromètre peut mesurer précisément à une distance de mesure différente de la distance de focalisation. Cependant la résolution optique sera légèrement dégradée et il sera nécessaire de consulter les tables ou diagrammes du

constructeur pour connaître avec exactitude le diamètre du spot pour cette distance de mesure. Les optiques focalisables présentent une meilleure solution technologique. Elles permettent à l'utilisateur de toujours utiliser la plus haute résolution optique.

La Fig. 19 présente un capteur à focalisation réglable manuellement par rotation de sa partie arrière. Certains capteurs peuvent être focalisés à distance via l'interface opérateur.



Fig. 19: Pyromètre Endurance (Fluke Process Instruments) à optique focalisable. L'ajustement de la distance de focalisation doit être fait sur site. De plus, la visée se fait à travers l'objectif (visée reflex) permettant un positionnement précis du spot de mesure sur la cible quelque soit la distance de mesure.

La Table 1 indique les matériaux typiques utilisés en pyrométrie IR pour la réalisation des lentilles et fenêtres ainsi que leurs principales caractéristiques spectrales, thermiques et chimiques. /3/

La mesure d'une cible placée dans une enceinte fermée nécessite généralement de passer par une fenêtre. La sélection de cette fenêtre est régie par la réponse spectrale du pyromètre retenu. A moyenne et haute température le quartz fondu est pratiquement toujours la solution. Pour les températures basses (longueur d'onde de 8 à 14 μm) il est nécessaire de recourir à des matériaux spécifiques tels le germanium, l'AMTIR ou le séléniure de zinc. En plus de la transmission spectrale il est nécessaire de considérer le diamètre de la fenêtre, sa température de travail, la pression à laquelle elle risque d'être soumise, la possibilité de la tenir propre ou de pouvoir la nettoyer des deux faces. Il est de plus très appréciable d'avoir une bonne transmission dans le visible pour l'alignement de la visée (Ex. enceinte sous vide).

La transmission d'une fenêtre varie énormément avec son épaisseur. Pour information, une fenêtre en quartz fondu d'un diamètre de 25 mm, capable de supporter une pression d'une atmosphère (enceinte sous vide) doit avoir une épaisseur mini de 1,7 mm.

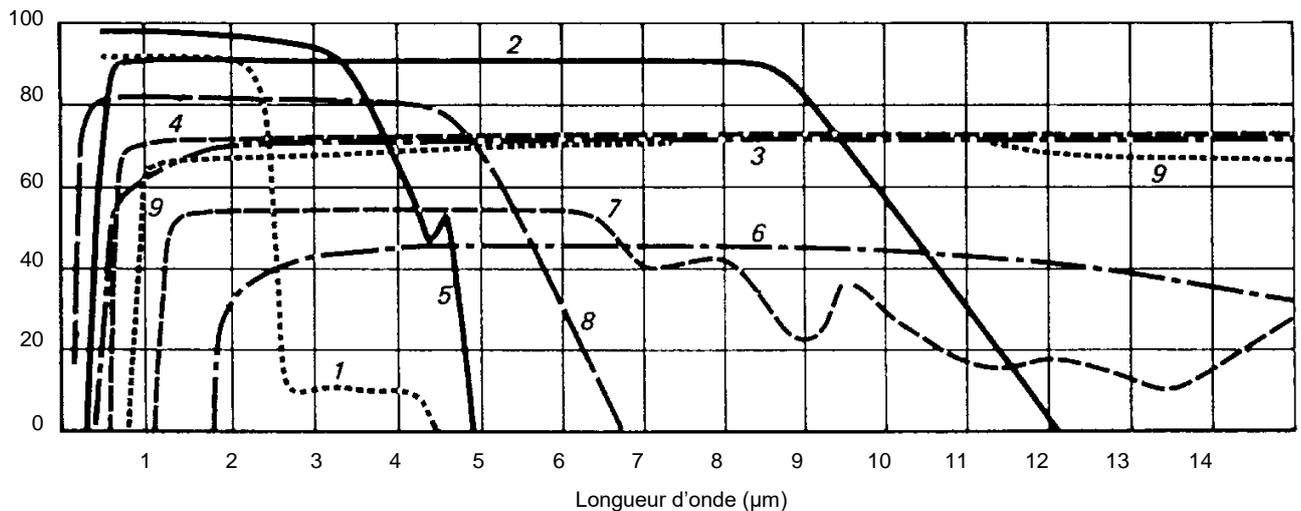
Le traitement multicouches des optiques augmente leur transmission jusqu'à 95%. Si la transmission de la fenêtre, pour la longueur d'onde considérée, est

Système infrarouge

connue, la perte de transmission peut être compensée par le réglage d'émissivité. Ex. Une fenêtre en AMTIR de transmission 68% est utilisée pour mesurer une cible dont l'émissivité est de 0,90. L'émissivité résultante devant être ajustée sur le pyromètre sera : $0,90 \times 0,68 = 0,61$

| | Longueurs d'onde recommandées (µm) | Temp. max. de la fenêtre (°C) | Transmission dans le visible | Résistance à l'humidité, aux acides, aux composés ammoniacés | Applicable à l'ultra-vidé |
|--|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--|---------------------------|
| Saphir Al ₂ O ₃ | 1...4 µm | 1800°C | oui | Très bonne | oui |
| Quartz fondu SiO ₂ | 1...2.5 µm | 900°C | oui | Très bonne | oui |
| CaF ₂ | 2...8 µm | 600°C | oui | Faible | oui |
| BaF ₂ | 2...8 µm | 500°C | oui | Faible | oui |
| AMTIR | 3...14 µm | 300°C | no | Bonne | - |
| ZnS | 2...14 µm | 250°C | oui | Bonne | oui |
| ZnSe | 2...14 µm | 250°C | oui | Bonne | oui |
| KRS5 | 1...14 µm | - | oui | Bonne | oui |

Table 1: Aperçu de quelques matériaux utilisés pour réaliser des fenêtres



- | | | |
|---|----------------|---------------------------------------|
| 1 Verre optique | 4 KRS5 | 7 Silicium |
| 2 Fluorure de calcium (CaF ₂) | 5 Quartz fondu | 8 Fluorure de lithium |
| 3 Séléniure de zinc (ZnSe) | 6 Germanium | 9 Verre de chalcogénure IG-2 (GeAsSe) |

Fig. 20: Transmission de matériaux optiques IR (ép. 1 mm)

4.4 Systèmes de visée

Les pyromètres sont le plus souvent dotés d'un système de visée permettant leur alignement avec la cible. Les systèmes de visée utilisant une caméra vidéo et un écran d'affichage non seulement simplifient l'alignement mais permettent son contrôle d'une station de surveillance éloignée. D'autres systèmes utilisent un laser pouvant être inclus dans le capteur ou dans un accessoire se vissant sur sa face avant. Le faisceau laser permet un alignement précis et rapide. Il est le plus souvent retenu pour les pyromètres portables où il est particulièrement apprécié pour la mesure de cible en mouvement ou lorsque l'éclairage ambiant est réduit.

Différents systèmes laser sont disponibles :

A Rayon laser

... décalé de l'axe optique du pyromètre. Il s'agit là du système le plus simple réservé aux capteurs à faible résolution optique (grosse cible). Le point laser marque approximativement le centre du spot de mesure avec toute fois un risque de décalage important aux faibles distances de mesure.

B Rayon laser dans l'axe

Le rayon laser passe par le centre de l'optique de mesure et marque l'axe optique. Le centre du spot de mesure est précisément matérialisé sur la cible quelque soit la distance de mesure.

C Double laser

Deux lasers à rayons non parallèles (divergents) peuvent être utilisés pour matérialiser le diamètre du spot de mesure sur une distance importante. Dans ce cas l'utilisateur n'a pas à se soucier du diamètre du spot ce qui évite bien des erreurs de mesure. Cette technique n'est généralement pas applicable pour les faibles distances de mesure pour lesquelles le diamètre du spot donné par les rayons laser est plus important que celui du spot de mesure vrai. Cet inconvénient peut amener l'utilisateur à ne pas utiliser tout le potentiel du capteur.

D Lasers croisés

Le système à rayons laser croisés, version spéciale du système à double lasers, est réservé aux capteurs à distance de focalisation fixe. La distance à laquelle les deux rayons laser se joignent (point unique sur la cible) est la distance de focalisation correspondant à la meilleure résolution optique.

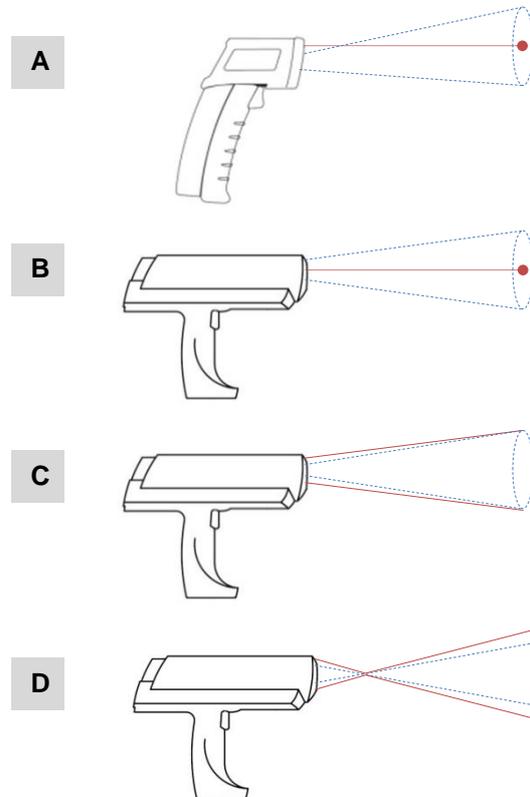


Fig. 21: Visées laser

Des systèmes utilisant un laser pour illuminer totalement la surface du spot permettent non seulement l'alignement précis mais aussi une excellente définition de la surface mesurée. L'alignement par une visée à travers un télescope (visée reflex dans un oculaire) prouve toute son efficacité sur des cibles très chaudes (incandescentes) ou dans des environnements lumineux ou pour des mesures à longues distances.



Fig. 22: Pyromètre IR portable à laser et viseur optique et haute résolution optique pour petites cibles (Raynger 3i Series, Fluke Process Instruments)

Résumé

L'association détecteur - système optique d'un pyromètre IR lui confère son aptitude à mesurer une cible d'une taille donnée à une distance de mesure donnée. La résolution optique (distance de mesure / diamètre du spot) résume les caractéristiques optiques d'un capteur. Le spot de mesure doit être totalement couvert par la cible pour obtenir une mesure exacte. L'alignement capteur - cible peut être facilité par des systèmes à laser ou à visée reflex. Une caméra vidéo permet un contrôle continu de l'alignement à distance. Si une fenêtre de visée doit être interposée entre le capteur et la cible, elle doit être compatible avec la réponse spectrale du capteur ainsi qu'avec ses caractéristiques optiques (diamètre du cône de visée).

4.5 Détecteurs

Le détecteur est le cœur des capteurs IR. Il convertit l'énergie infrarouge reçue de la cible en un signal électrique transformé en valeur de température par un circuit électronique. En plus d'avoir sérieusement réduit le coût des capteurs, les plus récents développements des processeurs ont amélioré leur stabilité, leur robustesse, leur résolution optique et leur rapidité de mesure.

Les détecteurs IR sont de deux principaux types : quantiques ou thermiques. Les détecteurs quantiques (photodiodes) répondent directement au bombardement des photons par la création de charges qui à leur tour génèrent un signal électrique. Les détecteurs quantiques (thermopiles, bolomètres) voient leur propre température se modifier avec le flux de photons. Ce changement de température génère une tension pour les thermopiles ou modifie la résistance dans le cas d'un bolomètre. Les détecteurs thermiques sont plus lents que les détecteurs quantiques puisque un changement de leur température est requis (plus lent dans ce cas signifie de l'ordre de la ms à comparer aux ns ou μ s pour les détecteurs quantiques). Les détecteurs quantiques sont surtout utilisés pour les imageurs ou les scanners en ligne ou la vitesse d'acquisition est primordiale.

4.6 Affichage et interfaces

L'interfaçage et l'affichage sont très importants pour l'utilisateur. Certains capteurs, spécialement les portables, ont un panneau combinant l'affichage et les contrôles et pouvant être considéré comme la sortie primaire du capteur. Les sorties analogiques ou digitales peuvent contrôler des affichages supplémentaires ou des systèmes de régulation pour les capteurs fixes sur ligne. Elles peuvent également être connectées à des systèmes d'acquisition, des imprimantes, des automates ou des calculateurs de procédés.

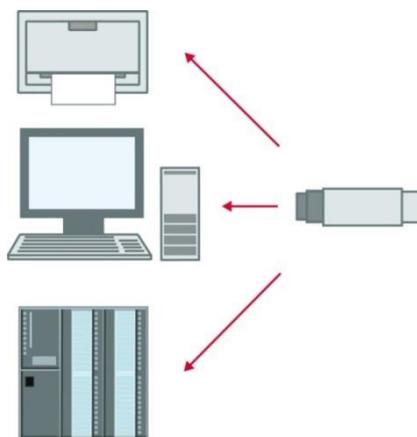


Fig. 23: Les sorties du pyromètre peuvent être connectées directement à une imprimante ou à un automate. Des interfaces graphiques peuvent aussi être créées à travers un PC et un logiciel.

L'usage de bus industriels est de plus en plus courant compte tenu de la flexibilité qu'ils procurent. Par exemple l'utilisateur peut modifier les paramètres de mesure à distance sans devoir arrêter la fabrication. Cette modification peut être nécessitée par un changement de fabrication par exemple. Cette action à distance évite l'ancienne méthode qui nécessitait une action directe sur le capteur, pas toujours très accessible, pour modifier son émissivité, temps de réponse ou valeurs d'alarme. On voit par là comment l'intervention humaine est réduite. De plus, les capteurs dits intelligents sont capables de diagnostics ou de contrôles détectant toutes sortes d'incidents : température ambiante trop élevée, défaut d'alimentation, dérive excessive etc. en ramenant des messages d'alerte à la salle de contrôle.

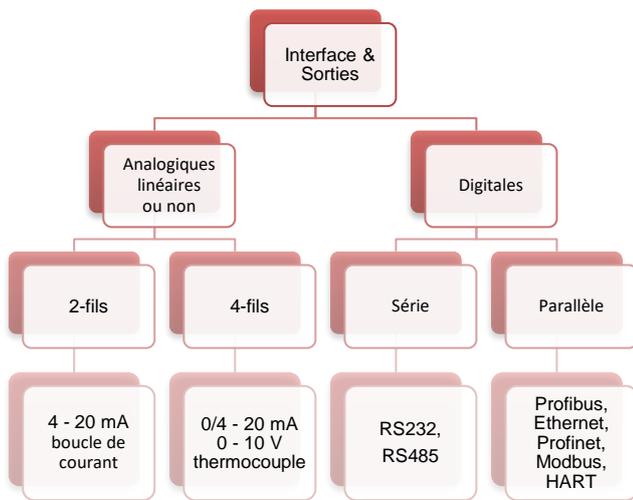


Fig. 24: Exemples d'interfaces disponibles sur les capteurs IR

L'adressage des pyromètres facilite la mise en œuvre de capteurs en réseau (multi-drop) tout en réduisant le coût de l'installation. Le nombre croissant de types de protocoles et de bus disponibles sur le marché, oblige très souvent à recourir à des convertisseurs (gateways) capables de convertir les commandes dans le protocole souhaité (ex. : Profibus PD). La plateforme RS-485 restant sans conteste la plus courante.

L'interface Ethernet avec adresse IP spécifique permet un accès direct par un explorateur classique sur un réseau intranet/internet. La mise en place du réseau peut s'avérer délicate pour les applications rapides ou à synchronisation pointue.

Un avantage supplémentaire d'une interface digitale est la possibilité offerte dans bien des cas, d'un étalonnage du capteur sur site via un logiciel fourni par le constructeur.

4.7 Caractéristiques techniques des pyromètres infrarouges

Un résumé complet incluant des notes de maintenance et des méthodes de validation des mesures est disponible en /6/, /7/ et /8/.

Les caractéristiques techniques listées et explicitées ci-dessous doivent être considérées avec attention lors de la sélection d'un pyromètre:

Echelle de température

L'échelle de température définie par le constructeur pour laquelle le fonctionnement du capteur est garanti être dans les spécifications.

Incertitude de mesure

L'intervalle de tolérance dans lequel la mesure se situe pour une probabilité spécifiée, dans des conditions de mesure et de température ambiante données.

Coefficient de température

Le coefficient de température est une erreur de mesure additionnelle causée par une température ambiante différente de celle spécifiée pour l'incertitude de mesure, (ex. : 0,01K/K pour une température ambiante >23°C).

Résolution thermique (NETD)

Part de l'incertitude de mesure causée par un bruit thermique inhérent au capteur. Elle est définie relativement à une température mesurée et à un temps de réponse (ex. 0,1 K à 100°C mesurés avec un temps de réponse de 150 ms).

Répétabilité (fidélité)

Part de l'incertitude de mesure d'une mesure (ou de plusieurs) répétée sur une courte période de temps dans des conditions de mesure identiques.

Stabilité à long terme

Exprimée de la même manière que l'incertitude de mesure mais relative à une période de temps plus longue (plusieurs mois).

Réponse spectrale

Les limites haute et basse de la réponse spectrale d'un capteur IR à large spectre exprimées en micron (μm) (Ex. 8 à 14 μm). Les spectres étroits sont spécifiés par leur valeur moyenne et leur demie largeur (Ex. $5 \pm 0,5 \mu\text{m}$)

Taille du spot de mesure

(fonction de la distance de mesure)

Habituellement, la taille de la surface de mesure (spot) donnée pour un signal (énergie) égale à 90%

Système infrarouge

de ce qu'il serait si cette taille était 3 fois supérieure pour une distance de mesure donnée. Alternativement, le rapport distance de mesure / diamètre du spot de mesure (D/S) peut aussi être donné.

Temps de réponse

Temps s'écoulant entre un changement de température de la cible et le changement correspondant de la valeur d'une sortie analogique. Pour être complet doivent également être spécifiés : l'amplitude du changement, la température de base et la limite retenue. Ex. $t = 10 \text{ ms}$ (25°C , 800°C , 95%).

Ex.: $t = 10 \text{ ms}$ (25°C , 800°C , 95%)

Temps d'acquisition

Le temps minimum pendant lequel la cible doit être « vue » par le capteur pour qu'une sortie analogique de ce dernier indique la température de la cible. Le temps d'acquisition est par définition plus court que le temps de réponse (il est le temps de réponse minimum). Pour être complet doivent également être spécifiés : la température et la limite retenue.

Ex.: $t = 1 \text{ ms}$ (25°C , 800°C , 95 %)

Températures de fonctionnement et de stockage

Limites, haute et basse, de la température ambiante de fonctionnement et de stockage d'un système IR. D'autres limites mécanique, électriques, etc. doivent également être respectées (type de protection, vibration, etc.)

4.8 Etalonnage

Tous les systèmes IR nécessitent d'être régulièrement contrôlés et ré-étalonnés si nécessaire afin d'assurer leur stabilité à long terme. Ceci ne peut être correctement réalisé que si l'organisme d'étalonnage (laboratoire agréé) connaît et respecte la procédure définie par le constructeur pour le capteur concerné. Le point le plus important est évidemment le respect de la distance de mesure et les dimensions de la référence (Corps noir) compte tenu de la taille du spot de mesure. Si un écart inacceptable est trouvé, le capteur doit être retourné au constructeur pour un nouvel étalonnage ou ré-étalonné sur place si le constructeur peut fournir le logiciel d'étalonnage adéquat.

Les sources d'étalonnage doivent être reliées à l'ITS90. Ceci se fait, en fonction des différents designs, via des capteurs IR de transfert ou des systèmes à contact lesquelles doivent eux aussi être vérifiés par des laboratoires accrédités. Les méthodes sont décrites en détail dans /9/.



Fig. 25: Contrôle d'un corps noir à l'aide d'un pyromètre de transfert (Tirrat LT, Fluke Process Instruments)

Températures typiques pour un pyromètre standard de transfert ¹

| Températures | Incertitudes de mesure 2σ |
|-----------------------|----------------------------------|
| $-49,9^\circ\text{C}$ | 0,11 K |
| $-20,0^\circ\text{C}$ | 0,08 K |
| $0,0^\circ\text{C}$ | 0,07 K |
| $25,1^\circ\text{C}$ | 0,07 K |
| $50,1^\circ\text{C}$ | 0,07 K |
| $100,0^\circ\text{C}$ | 0,08 K |
| $150,0^\circ\text{C}$ | 0,17 K |
| $200,0^\circ\text{C}$ | 0,18 K |
| $250,0^\circ\text{C}$ | 0,20 K |
| $270,0^\circ\text{C}$ | 0,21 K |

¹ diamètre d'ouverture de la source : 60 mm. Etalonnage au plan focal. Température ambiante : $23 \pm 1^\circ\text{C}$

Table 2: Points d'étalonnage et incertitude de mesure d'un pyromètre de transfert

5 Pyromètres spéciaux

5.1 Pyromètres à fibre optique

Les pyromètres à fibre optique sont utilisés dans les applications où les champs électriques ou magnétiques sont très élevés, les endroits où la température ambiante est très élevée, les enceintes sous vide et partout où la place est très limitée. La fibre optique permet d'éloigner le capteur sensible de ces zones dangereuses. Les applications typiques sont le chauffage ou la soudure par induction. La fibre optique ne contenant pas de composant électronique, elle peut supporter des températures ambiantes élevées (jusqu'à 300°C) sans refroidissement. Le coût de l'installation et de l'utilisation s'en trouve grandement diminué.

La fibre peut être mono ou multibrins. Ce dernier type permet des rayons de courbure plus faibles.

La fibre optique des capteurs modernes peut être remplacée sans nécessiter un nouvel étalonnage de l'ensemble. Il suffit d'entrer un numéro de calibration dans le capteur par logiciel. Les fibres optiques sont limitées aux longueurs d'onde de 1,0 et 1,6 µm. Elles permettent de mesurer des températures à partir de 250°C.



Fig. 25: Capteur moderne à fibre optique (Endurance Séries, Fluke Process Instruments)

5.2 Pyromètres bichromatiques (2 couleurs)

Ces pyromètres spéciaux (aussi appelés pyromètres 2-couleurs ou de rapport) sont dotés de deux systèmes électro-optiques de structures identiques. Les deux réponses spectrales sont très proches et très étroites de sorte que les caractéristiques de rayonnement (réflexion, émissivité) de la majorité des cibles soient pratiquement identiques pour les deux longueurs d'onde. Le rapport des énergies mesurées à ces deux longueurs d'onde, duquel est extraite la température, est insensible à bien des influences qui affecteraient la mesure par une seule longueur d'onde. Différentes technologies peuvent être utilisées.

1. Filtres passant alternativement devant un seul détecteur (filtres tournants). Cette technique trouve une limitation pour les cibles en mouvement. En effet, le détecteur ne voit pas la même scène à travers chacun des filtres et le rapport en est grandement affecté.
2. Le rayonnement IR passe par un séparateur de faisceau pour atteindre deux détecteurs dotés chacun d'un filtre de spectre.
3. Le rayonnement IR atteint, sans séparateur de faisceaux, deux détecteurs montés en sandwich à travers un filtre. Dans cette configuration, le détecteur supérieur se comporte comme un filtre pour le détecteur inférieur.

L'utilisation des équations /5/ pour la voie 1 (longueur d'onde λ_1) et la voie 2 (longueur d'onde λ_2) permet d'écrire :

$$1/T_{\text{mesu}} = 1/T_{\text{cible}} + (\lambda_1 \lambda_2)/(C_2 (\lambda_2 - \lambda_1)) \ln (\varepsilon_2/\varepsilon_1) \quad (3)$$

Si l'émissivité est identique pour les deux voies $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$, le terme situé après le signe + est nul ($\ln 1 = 0$) et la température mesurée T_{mesu} correspond à la température de la cible T_{cible} ($C_2 =$ seconde constante de rayonnement en µm K).

Un raisonnement identique peut être utilisé pour ce qui concerne la surface A de la cible dans le spot de mesure. Cette surface projetée est identique sur les deux détecteurs. Appelons les A_2 et A_1

$$1/T_{\text{mesu}} = 1/T_{\text{cible}} + (\lambda_1 \lambda_2)/(C_2 (\lambda_2 - \lambda_1)) \ln (A_2/A_1) \quad (4)$$

Ainsi, la température mesurée est indépendante de la taille de la cible. Une possibilité intéressante résulte de cette particularité. Une petite cible passant dans le spot de mesure pour un temps supérieur au temps de réponse du capteur sera mesurée correctement.

De même, un changement de transmission du chemin de visée n'aura pas de conséquence sur la qualité de la mesure. Ce type de capteur est recommandé là où poussières et/ou fumées sont présentes ou lorsque le chemin de visée risque d'être partiellement obstrué par un obstacle quelconque. Les capteurs les plus modernes utilisent cette particularité pour analyser la transmission de leur propre optique. Une contamination excessive, suite à un défaut de balayage par exemple, commandera un relais d'alarme.

Pour les applications qui par nature créent une certaine densité de particules dans leur environnement le pyromètre bichromatique peut donner des informations supplémentaires. La Fig. 26 illustre les informa-

Pyromètres spéciaux

tions données dans de tels cas. En plus de la température bichromatique, le système donne la température monochromatique de chacune des voies. L'atténuation est calculée par comparaison de ces valeurs.

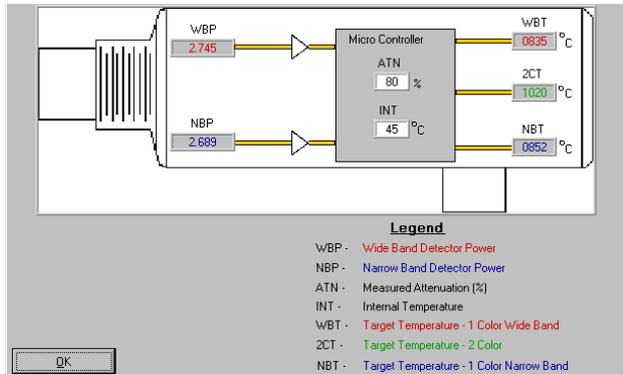


Fig. 26: Informations données par le logiciel d'un pyromètre bichromatique. Ex. Temp. mono voie 1 (WBP), Temp. mono voie 2 (NBP) et Temp. bi. (2CT). L'atténuation (ATN) est aussi calculée et affichée.

Exemple de matériaux dont les surfaces oxydées se comportent comme des corps gris. Ils peuvent être mesurés avec un réglage de pente (rapport des émissivités spectrales) = 1,00 :

Acier, fonte, cobalt, nickel, acier inoxydable.

Exemple de matériaux dont les surfaces non-oxydées se comportent comme des corps non-gris. Ils peuvent être mesurés avec un réglage de pente = 1,06 :

Acier, fonte, cobalt, nickel, acier inoxydable, tungstène, molybdène, tantale, rhodium, platine

Résumé

Le pyromètre deux couleur est particulièrement adapté à la mesure de température lorsque :

1. La cible est plus petite que le spot de mesure ou de taille changeante (l'arrière plant doit être plus froid que la cible)
2. La cible passe dans le spot de mesure pour un temps supérieur au temps de réponse.
3. Le chemin de visée est partiellement réduit (poussières ou autres particules, vapeurs, fumées ...)
4. L'émissivité de la cible peut changer durant la mesure.

Le facteur d'atténuation fournit une information supplémentaire sur le déroulement du procédé et peut être utilisé pour actionner une alarme dans le cas d'une contamination excessive de l'objectif ou de la fenêtre de visée.

5.3 Systèmes d'imagerie infrarouge

A la différence des systèmes de mesure de température ponctuels ces systèmes s'appliquent à mesurer la distribution de température sur une surface. La mise en évidence de différences de températures comme la détection des points les plus chauds ou les plus froids jouent dans bien des fabrications un rôle plus important que la connaissance de la valeur absolue de la température. La Fig. 27 montre le gradient de température sur un film plastique ainsi qu'un défaut sur son bord droit.

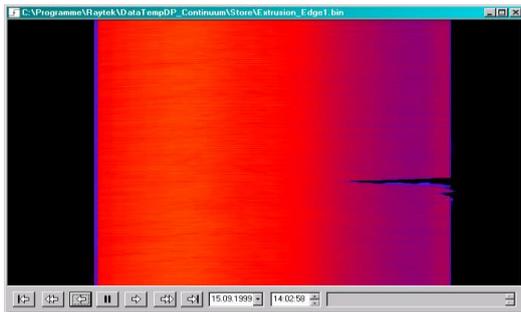


Fig. 27: Image thermique d'un film plastique avec détection d'un défaut sur son bord droit.

Les spécifications techniques des scanners en ligne IR diffèrent de celles des pyromètres. L'angle de balayage en degrés (Ex. 30°) et la résolution spatiale en mrad (Ex. 3 mrad) remplace la résolution optique (D/S). La comparaison avec un pyromètre est facile puisqu'une résolution spatiale de 1 mrad correspond à un spot de mesure 1 mm à 1 m.

Le temps de réponse est remplacé par la fréquence de balayage ligne ou image.

5.3.1 Scanners en ligne IR

Les scanners en ligne sont utilisés pour mesurer des cibles en mouvement (Ex. bandes, films, produit sur bande transporteuse). Ils donnent la distribution thermique sur une diagonale par rapport au sens de défilement. Le mouvement propre de la cible fournit la seconde dimension permettant la construction d'une image 2D. La Fig. 28 illustre le principe de fonctionnement appliqué à la mesure d'un film. La Fig. 29 montre la distribution de température matérialisée par une palette de couleurs (à gauche) ainsi que le profil transversal de température (à droite). La chute rapide de température sur les bords y est évidente.

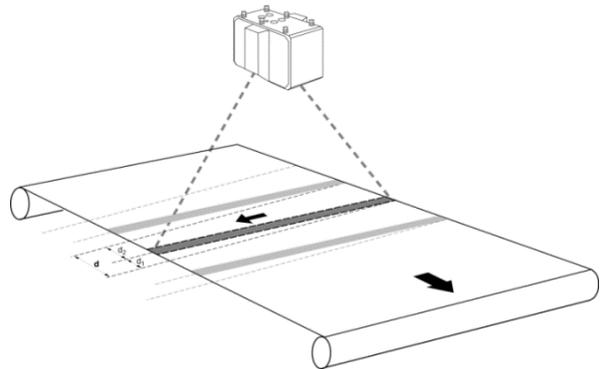


Fig. 28: Principe de mesure d'un scanner en ligne

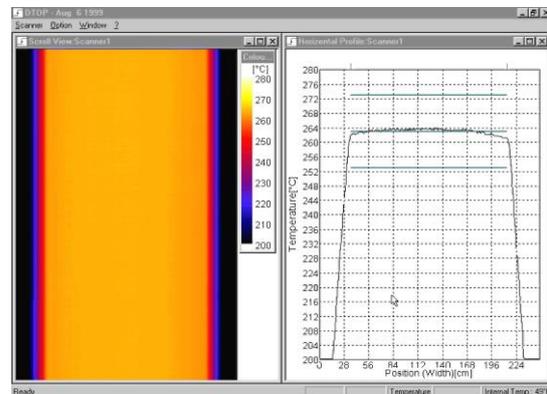


Fig. 29: Copie d'un écran de scanner en ligne mesurant un film en mouvement. Image thermique à gauche et profil à droite.

Systèmes opto-mécaniques

Ces systèmes sont basés sur un capteur spot associé à un système de balayage à miroir. Le fait de n'utiliser qu'un capteur unique permet une mesure très précise du profil. Par principe, le système opto-mécanique définit le MTBF (temps moyen entre défauts) du capteur. Les technologies actuelles permettent d'atteindre des valeurs de plusieurs années. Une fréquence de balayage 100 Hz associée à 1000 échantillons par ligne est maintenant possible.

Pyromètres spéciaux

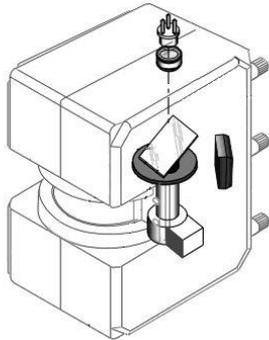


Fig. 30: Principe de fonctionnement d'un ensemble opto-mécanique avec miroir tournant.

Puisque le système optique de base est identique à celui d'un pyromètre, sa réalisation est beaucoup plus simple que celle requise par les détecteurs en réseau ou en matrice (array detectors) réduisant ainsi le coût global du système. Un autre avantage est la possibilité d'avoir un très large angle de balayage. Un angle de 90° est courant permettant la mesure de ligne de fabrication très large à une distance de mesure relativement limitée.

Systèmes à réseau de détecteurs

Le nombre d'échantillons acquis à chaque balayage est dicté par le nombre d'éléments sensibles du réseau de détecteurs. Il n'y a pas de pièce en mouvement. La plupart des détecteurs utilisés sont du type pyro-électrique qui nécessitent un obturateur mécanique. Cet obturateur mécanique est responsable du MTBF global du système. L'étalonnage est rendu difficile par l'hétérogénéité potentielle des détecteurs unitaires. Cette hétérogénéité doit être compensée par logiciel à travers une table de correction. Cette dernière n'est pas nécessaire dans le système décrit dans le chapitre précédent. Différents objectifs permettent différents angles de vue allant de quelques degrés (téléobjectif) à un maximum de 60° (grand angle).

5.3.2 Caméras thermiques à matrice

Les caméras thermiques à matrice, sans aucun pièce en mouvement, sont capable de fournir des images 2D de cibles fixes. Des matrices MCT (Mercury – Cadmium – Tellure) issues des recherches militaires sont utilisées dans les caméras à grande vitesse. Les matrices à détecteurs pyroélectriques bascoût délivrant des fréquences vidéo ont été expérimentées. Les matrices à bolomètre restent les plus couramment utilisées à ce jour.

Bolomètre (FPA - Focal Plane Array)

Ces dernières années plus particulièrement, les bolomètres à semi-conducteurs ont fait l'objet de progrès très importants. La résolution thermique atteint maintenant 0,1K et les fréquences images sont au moins égales au double des standards vidéo. Les résolutions d'images de 320x240 pixels sont courantes et même des résolutions « Full VGA » de 640x320 pixels sont atteintes.



Fig. 31: Caméra IR moderne présentant une résolution de 320x240 ou 640x480 (ThermoView TV40, Fluke Process Instruments)

6 Résumé

La pyrométrie infrarouge mesure l'énergie naturellement émise par tout objet, sans contact avec ce dernier. Cette technique permet une mesure rapide et en toute sécurité de la température d'objets en mouvement, excessivement chauds, ou difficiles d'accès. Là où un système à contact peut altérer la qualité de la mesure, détruire ou contaminer le produit, un pyromètre sans contact donnera une mesure précise. En comparaison de celle de leurs prédécesseurs lourds, encombrants et difficiles à mettre en œuvre l'image des capteurs actuels est totalement différente. Les pyromètres modernes sont petits, ergonomiques, faciles à mettre en œuvre au point qu'ils peuvent être même installés à demeure dans des petites machines. Du pyromètre portable polyvalent aux capteurs spéciaux dédiés, l'offre n'a jamais été aussi large.

7 Bibliographie

- /1/ Klaus Herrmann, Ludwig Walther:
Wissensspeicher Infrarottechnik, 1990,
Fachbuchverlag Leipzig
- /2/ Stahl, Miosga: Grundlagen Infrarottechnik,
1980, Dr. Alfred Hütthig Verlag Heidelberg
- /3/ VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperatur-
messungen – Strahlungsthermometrie,
January 1995, VDI/VDE 3511 page 4
- /4/ De Witt, Nutter: Theory and Practice of Radia-
tion Thermometry, 1988, John Wiley&Son,
New York, ISBN 0-471-61018-6
- /5/ Wolfe, Zissis: The Infrared Handbook, 1978, Of-
fice of Naval Research,
Department of the Navy, Washington DC.
- /6/ VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperatur-
messungen – Spezifikation von Strahlungsther-
mometern, June 2001,
VDI/VDE 3511 page 4.1
- /7/ VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperatur-
messungen – Erhaltung der Spezifikation von
Strahlungsthermometern, January 2002,
VDI/VDE 3511 page 4.2
- /8/ VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperatur-
messungen – Standard-Test-Methoden für
Strahlungsthermometern mit einem Wellenlän-
genbereich, July 2005, VDI/VDE 3511 page 4.3
- /9/ VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperatur-
messungen – Kalibrierung von Strahlungsther-
mometern, July 2005, VDI/VDE 3511 page 4.4

Fluke Process Instruments développe, construit et commercialise une ligne complète d'instruments de mesure de température par infra-rouge pour les applications industrielles de production, de maintenance et de contrôle qualité.

Les capteurs infrarouges Fluke Process Instruments sont en service à travers le monde entier pour les applications les plus diverses partout où la température est essentielle pour la productivité et/ou la qualité quel que soit le type d'industrie : métal, verre, ciment, plastique, alimentaire.

Les capteurs infrarouges Fluke Process Instruments sont pour la plupart intégrés dans les processus industriels pour un contrôle et une régulation continue de la température. Leur « intelligence » associée à une communication numérique permet aux ingénieurs de procéder de les configurer d'une manière optimale à distance. Du capteur spot miniature aux systèmes d'imagerie sophistiqués avec interface spécifique, les capteurs de procédés Fluke Process Instruments assurent une précision de mesure et une fidélité correspondant aux plus hauts niveaux d'exigence.

Les capteurs industriels Fluke Process Instruments sont caractérisés par une grande fiabilité, un excellent rapport qualité / prix et une mise en œuvre simple. En réduisant les temps d'arrêt tout en améliorant l'efficacité et la qualité de votre fabrication les capteurs infrarouges Fluke Process Instruments vous assureront un retour sur investissement rapide et substantiel.



Fluke Process Instruments

Americas

Everett, WA USA

Tel: +1 800 227 8074 (USA and Canada only)

+1 425 446 6300

solutions@flukeprocessinstruments.com

EMEA

Berlin, Allemagne

Tel: +49 30 478 0080

info@flukeprocessinstruments.de

Chine

Pékin, Chine

Tel: +86 10 6438 4691

info@flukeprocessinstruments.cn

SAV global

Le SAV Fluke Process Instruments inclut réparations et étalonnages. Pour plus d'informations, merci de vous adresser à votre contact local ou de nous envoyer un Email.

www.flukeprocessinstruments.com

© 2018 Fluke Process Instruments.

Specifications subject to change without notice.

55514-2, Rev. 1.0, Jun 2018