

# Mesure en toute sécurité et sans pièce d'usure de la température dans les systèmes de chauffe par induction

**Ralf Körholz**

La température est la grandeur la plus importante à contrôler dans les systèmes de chauffe par induction. Pourtant, une mesure fiable dans le temps n'est pas toujours simple à mettre en place. Les mesures à contact avec thermocouples ne sont pas possibles dès que les pièces à mesurer sont en mouvement ou que la mesure se fait au cœur de l'inducteur. Les thermomètres infrarouges permettent de capter le rayonnement infrarouge à distance et de définir précisément la température. Ils sont donc les instruments idéaux pour cette application. Toutefois, il est crucial de choisir le bon modèle et de le paramétrer correctement. Cet article décrit les conditions à respecter et les dernières avancées technologiques dans ce domaine pour garantir une mesure fiable, précise et stable dans le temps.

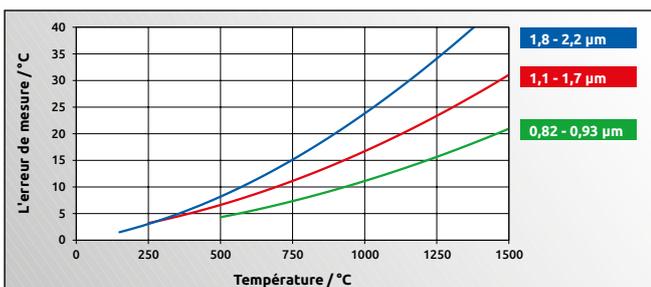
Alors que le contrôle de la température est essentiel pour garantir une production constante et une qualité optimale des pièces traitées par le four à induction, les thermomètres ne sont pas systématiquement utilisés. Ceci est dû à la difficulté rencontrée par les opérateurs pour les installer correctement. La machine est alors généralement contrôlée via la puissance des inducteurs, la vitesse et les courbes de chauffe. Les sondes contact de type thermocouples sont difficiles voire impossibles à mettre en place lorsque les pièces sont en mouvement.

La dissipation thermique par conduction entre la pièce chauffée et le thermocouple ne peut pas être totalement supprimée pour les petites pièces ou les zones de mesure restreintes. Le temps de réponse des thermocouples est souvent trop grand au regard des vitesses de chauffe de l'induction. Les montages de fixation peuvent être compliqués et difficiles à ajuster pour atteindre la pièce. De plus, une sonde contact dérive dans le temps et doit être ré-étalonnée. Sa durée de vie est limitée. Pour toutes ces raisons, la mesure par thermocouples ne peut garantir une mesure fiable dans le temps.

A l'inverse, la mesure infrarouge est sans contact, sans dérive, sans pièce d'usure et presque sans maintenance. C'est la technologie idéale pour tous les procédés par induction. Le thermomètre mesure l'énergie infrarouge émise par la pièce pour la convertir en température. C'est une mesure plus complexe car indirecte et le paramétrage est essentiel. L'énergie émise dépend de la nature du matériau ainsi que de son état de surface. Avec un modèle mono-chromatique, la valeur affichée pour une même température vraie sera plus faible pour une pièce en bronze par rapport à une pièce en acier si on garde le même paramétrage. Ceci est dû aux valeurs d'émissivités différentes. Chaque matériau a une émissivité propre qui définit la capacité de ce matériau à renvoyer le rayonnement infrarouge. Il est essentiel de régler la bonne valeur d'émissivité. La question est donc comment la déterminer correctement en fonction du matériau et dans quelle mesure elle reste constante lorsque la

surface ou la température changent. Comme pour la mesure sans contact, la zone souhaitée à mesurer peut être difficile à visualiser. Par exemple, le câble métallique peut osciller et sa position donc changer. Dès lors, l'objet sort du champ de visée et la mesure est perdue. Heureusement des solutions existent pour contrecarrer ces situations. A cause de ces difficultés, les opérateurs peuvent être freinés dans l'utilisation de l'infrarouge et optent pour un pilotage sans contrôle réel de la température. Le four est piloté uniquement en utilisant toujours les mêmes conditions de tension et de vitesse. Il n'y a pas de mesure en continue de la température et aucune traçabilité réelle. En choisissant le bon modèle de thermomètre infrarouge et avec un personnel qualifié, les équipements modernes permettent de garantir une mesure précise et fiable dans presque toutes les installations.

Il existe 2 types de thermomètres infrarouges. Le thermomètre infrarouge monochromatique mesure le rayonnement à une longueur d'onde et calcule la température. Toutes perturbations du rayonnement infrarouges comme un changement d'émissivité de la surface, un objet plus petit que la cible de mesure, la présence de fumées/poussières entraînent une variation de la valeur affichée. Plus la bande spectrale du détecteur est grande et large, plus l'erreur induite par une perturbation est importante (**Fig. 1**). Pour contrer ces erreurs, on utilise des modèles bi-chromatiques travaillant à 2 longueurs d'onde. Le détecteur en double sandwich mesure le rayonnement provenant exactement du même point de mesure et simultanément. L'électronique définit alors le rapport d'intensité des 2 signaux et détermine la température à partir de sa courbe d'étalonnage. L'énorme avantage est que la mesure reste stable et fiable même en présence des perturbations précédemment évoquées. Ce mode de mesure tolère une baisse de 90% de l'intensité du signal. Parfois l'influence engendrée par la perturbation a un impact différent sur les 2 voies de mesure. Pour ces quelques exceptions, l'erreur de mesure sera plus importante qu'avec un modèle monochromatique.



**Fig. 1** Erreur de mesure pour un modèle monochromatique à différentes longueurs d'onde pour une variation d'émissivité de 10%

La valeur d'émissivité des métaux varie avec la température, leur degré d'oxydation et l'état de surface. Ainsi, l'émissivité d'un acier oxydé est beaucoup plus grande que celle d'un métal non ferreux comme le bronze, le cuivre ou l'aluminium (**Tableau 1**).

Matière	Émissivité / %
Acier	84 - 87
Laiton	25 - 35
Cuivre	50 - 60
Aluminium	15 - 25

**Tableau 1** Emissivité de différents métaux

L'immunité relative du mode bichromatique face aux variations d'émissivité et donc sa fiabilité de mesure en fait le mode privilégié pour la mesure du fer et des aciers. Les modèles bichromatiques doivent être préférés aux thermomètres infrarouges monochromatiques dès que la température permet leur utilisation. Les instruments de bonne qualité utilisent des lentilles traitées spécifiquement et de haute résolution. Grâce à l'algorithme CSD (Clean Surface Detection), ces instruments peuvent séparer les signaux provenant du métal non oxydé du reste. Le microprocesseur de dernière génération permet une mesure en quelques millisecondes. La présence d'un nouvel objet chaud est détectée automatiquement et le système peut renvoyer une température unique pour chaque pièce via la sortie analogique. Les pièces trop chaudes ou trop froides peuvent être écartées en utilisant les 2 sorties relais (**Fig. 2**).



**Fig. 2** Les billettes trop chaudes ou froides sont écartées par les sorties relais

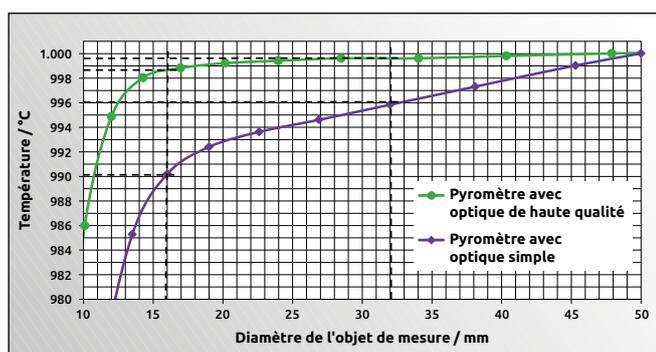
En revanche, l'influence des émissivités est très dépendante de la longueur d'onde du détecteur pour les métaux non ferreux. Dès lors, l'erreur de mesure d'un modèle bichromatique sera plus importante qu'un modèle mono-chromatique lors de la mesure d'une pièce en bronze ou en aluminium. Pour ces métaux, on préfère un modèle monochromatique utilisant un détecteur courte longueur d'onde et à bande spectrale étroite. Le **tableau 2** montre un exemple où l'émissivité du bronze varie de 25% à 35%. La dernière colonne affiche l'erreur engendrée pour différentes longueurs d'onde pour une température vraie de 900°C.

Type de dispositif	Longueur d'ondes $\lambda$	Déviaton
Pyromètre monochromatique	1,1 – 1,7 $\mu\text{m}$	$\pm 29$ K
	0,82 – 0,93 $\mu\text{m}$	$\pm 10$ K
Pyromètre bichromatique	0,95 $\mu\text{m}$ / 1,55 $\mu\text{m}$	$\pm 26$ K
	0,95 $\mu\text{m}$ / 1,05 $\mu\text{m}$	$\pm 23,5$ K

**Tableau 2** Déviaton de la mesure

Un thermomètre infrarouge est avant tout un instrument optique. Quel que soit l'amélioration des électroniques et des algorithmes, les éléments optiques restent le premier maillon pour assurer une mesure de qualité. Afin de minimiser les erreurs dues aux éléments optiques, l'utilisation de lentilles à haute résolution et de bonne qualité est indispensable tout particulièrement en cas de mesure sur des objets de tailles proches de la taille de la cible.

Pour éviter les erreurs optiques, les modèles à focale fixe doivent être positionnés exactement à la distance focale. Pour les modèles focalisables, il suffit d'ajuster la focale pour avoir une image nette. En pratique, la distance entre l'instrument et l'objet peut varier pour diverses raisons. Souvent les réglages



**Fig. 3** Erreurs optiques pour un modèle premier prix et un modèle haut de gamme

des focales ne sont pas réalisés précisément alors que cela influence directement la précision de la mesure comme le montre le graphique (**Fig. 3**). Afin de diminuer cette erreur appelée Effet de Taille de Source (SSE), il est primordial d'utiliser des pyromètres infrarouges haut de gamme.

Ce graphe montre la valeur de SSE pour un thermomètre infrarouge premier prix et pour un modèle industriel de qualité. Lorsque la taille de l'objet passe de 16 mm à 32 mm, la valeur affichée par l'instrument passe de 998.7°C à 999.7 °C pour le modèle haut de gamme. Soit une déviation de 0.9 K pour une température vraie de 1000.0 °C. Dans le même temps, le modèle premier prix affiche des valeurs de 990.0°C et 995.8°C soit une déviation de 5.8 K.

Dans notre exemple, la précision de mesure à 1000°C pour une cible de 16 mm du modèle haut de gamme était d'environ +/- 0.13% mais seulement de +/- 1% pour le modèle premier prix simplement à cause de l'augmentation de taille de l'objet.

L'alignement correct et la distance de focalisation optimale peuvent facilement être visualisés en utilisant un pointeur LED, une visée directe ou une caméra vidéo. A noter, le pointeur laser ne permet pas de visualiser la zone exacte de mesure (surface) et devrait être réservé uniquement pour l'alignement des instruments. De plus sa couleur rouge peut rapidement se confondre avec la couleur du matériau mesuré. On préfère une LED verte.

Une autre astuce pour minimiser les variations d'émissivité est de placer le thermomètre perpendiculairement à la surface de l'objet et au plus près de la sortie du four, du convoyeur. La surface de mesure est alors minimale ainsi que les réflexions parasites. Le rayonnement des sources lumineuses (naturelle ou artificielle) a une influence négative en particulier sur les surfaces réfléchissantes pour les températures inférieures à 400°C. Pour ces applications, on utilise un détecteur spécifique équipé d'un filtre coupe-bande.

L'alignement sur les objets de petites tailles ou oscillants comme les câbles peut être difficile. Les thermomètres de la gamme Panorama utilisent une cible rectangulaire qui facilite grandement ce réglage. La mesure reste acquise tant que l'objet couvre en partie la cible rectangulaire (**Fig. 4**).

L'introduction de l'IO-Link dans l'industrie 4.0 permet de remplacer peu à peu la sortie standard analogique 0/4-20 mA par une sortie intelligente numérique. Ceci permet d'accéder à de nouvelles fonctionnalités de mesure, de monitoring ou de communication avec le capteur. Ainsi l'IO-Link permet



**Fig. 4** Thermomètre Panorama avec visée rectangulaire pour une mesure en toute sécurité

d'upgrader les machines-outils et l'usine dans son ensemble grâce à une vitesse de communication élevée, la simplification et l'uniformisation des câbles de connexions et de l'inter-compatibilité avec tous les bus de terrain déjà en place (**Fig. 5**).

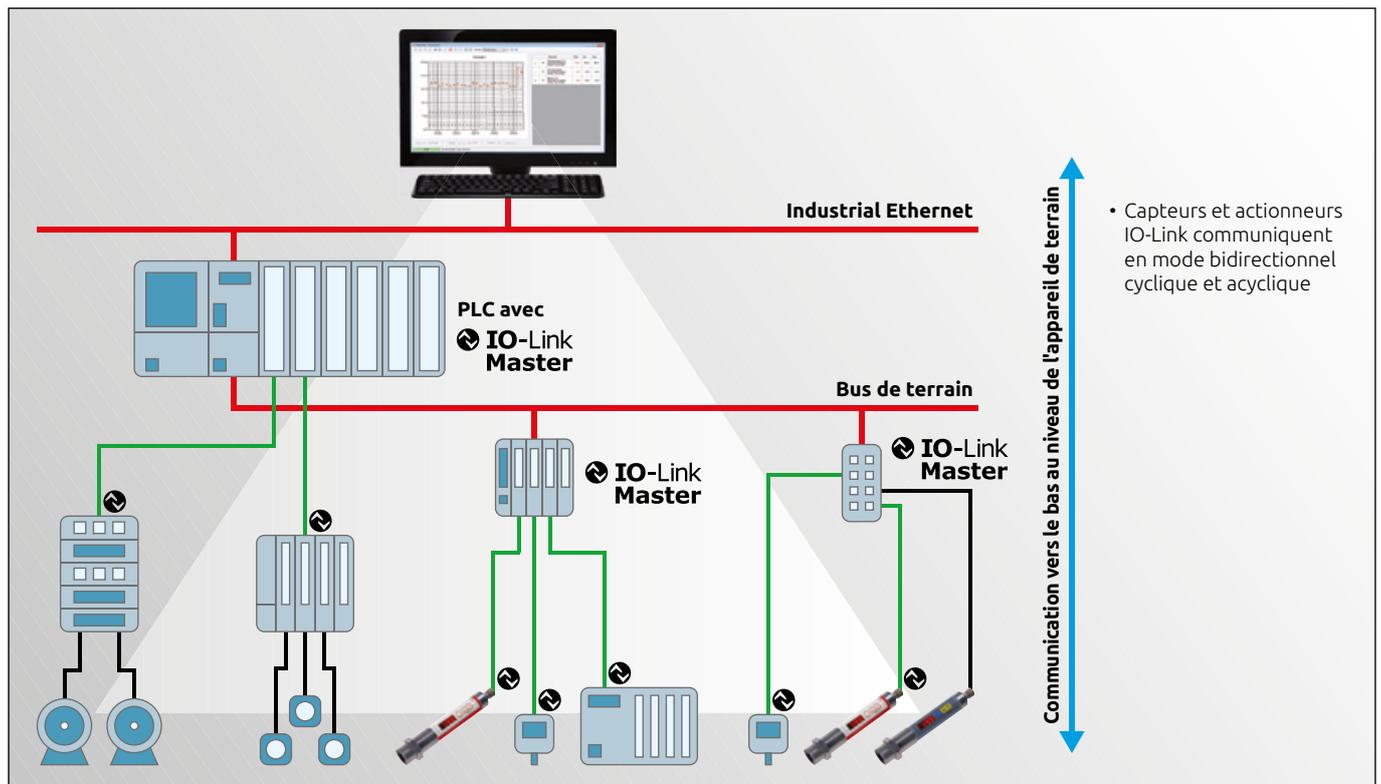
## Conclusion

Les derniers développements dans le domaine de la mesure de température par infrarouge permettent aujourd'hui de garantir une mesure fiable et ont levé les difficultés d'installation rencontrées par le passé. Les modèles de dernière génération et de qualité constituent dorénavant un atout pour contrôler finement le bon fonctionnement des fours à induction et assurer la traçabilité des procédés de fabrication.



## Auteur

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ralf Körholz  
 KELLER HCW GmbH · Germany  
 Infrared Thermometer Solutions  
 Tél. +49 54 51 85 381  
 ralf.koerholz@keller-msr.de  
 www.keller-msr.fr



**Fig. 5** Nouveaux interface IO-Link pour intégration dans tous les systèmes de bus de terrain bien connus