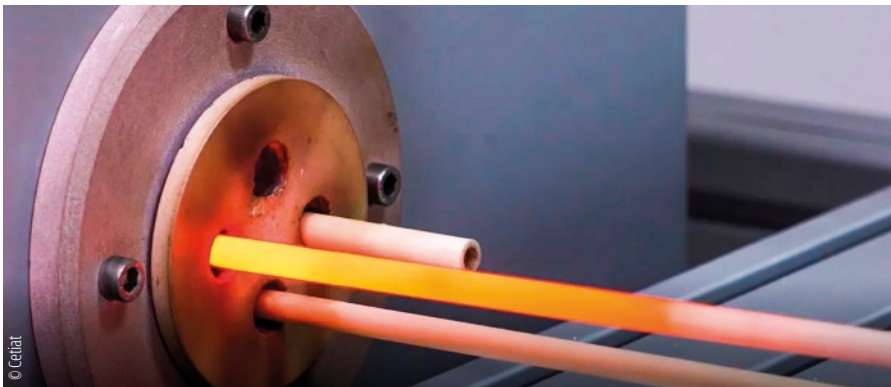


# Bonnes pratiques en thermométrie

Jacques-Olivier Favreau, référent technique pour la thermométrie au Cetiat



**La mesure de température est nécessaire dans de nombreux traitements. Elle garantira la qualité des produits. Qu'est-ce que la thermométrie de contact et sans contact ? Quelles sont les solutions pour améliorer la qualité de mesure ?**

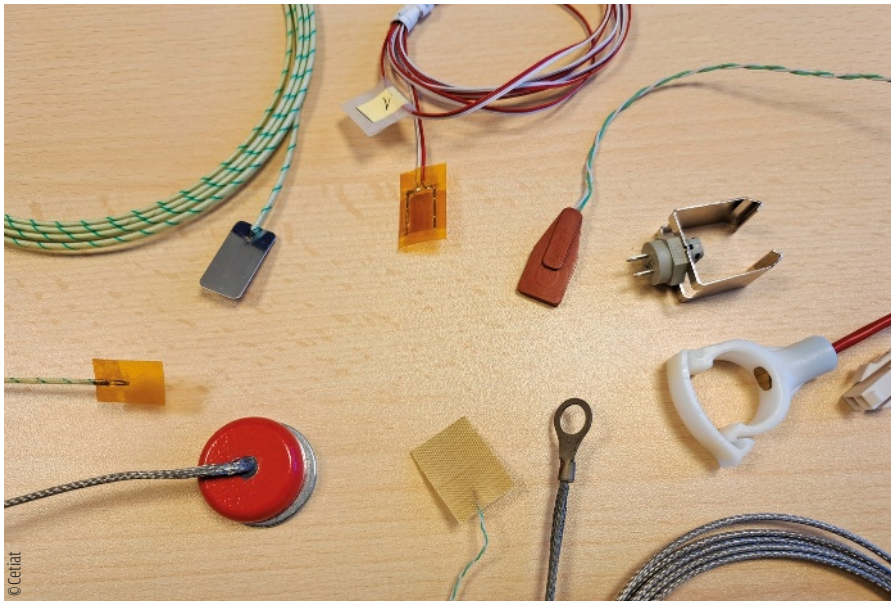
**L**a mesure de température intervient dans de nombreux processus de traitement et de mise en œuvre de matériaux. La qualité d'un mélange, d'un traitement, d'une mise en forme ou d'une cuisson dépendra en partie de la température du milieu ou de l'environnement. Plus la détermination de la température du milieu ou de l'objet sera précise (juste et fidèle) meilleur en sera la qualité du produit fini. Par exemple, si le moule est trop froid, cela pourra induire des défauts de surface sur la pièce finie, pouvant ressembler à une trace de liquide (vague) ou d'autres types de défauts dépendant des propriétés du matériau, ou de son dégazage... Des défauts d'aspect comme des «écailles» peuvent également apparaître si la température de la filaire d'une extrudeuse n'est pas correctement réglée. Lors d'un mélange réalisé dans un mélangeur à cylindres, la matière

trop froide peut provoquer la casse des cylindres. Ces derniers doivent donc être thermalisés pour limiter ce risque et améliorer la qualité du mélange. De même, si la température de la matière entrant dans le moule est trop basse. Une mauvaise répartition de la matière peut produire des trous ou des fissures. À l'inverse, avec un moule trop chaud, on pourra constater l'apparition de flasques de retrait, voir un grillage complet ou partiel de la pièce. Pour certains matériaux, la température à elle seule peut expliquer des difficultés de démoulage. Cet article s'intéresse à la thermométrie de contact où le thermomètre est introduit dans le milieu de mesure. Quelques éléments de thermométrie sans contact et des solutions permettant d'améliorer la qualité de la mesure sont abordés dans cet article. Il s'agit de principes simples que le lecteur devra adapter à sa situation spécifique car la méthode idéale ou le capteur parfait n'existent malheureusement pas !

## Thermométrie de contact

La thermométrie de contact est très utilisée pour les mesures en statique, de pièces massives. Une large gamme de conditionnement de capteurs est disponible et a été éprouvée. La thermométrie de contact donne de bons résultats si le thermomètre est correctement installé. Les capteurs résistifs de type Pt100 ayant une résistance de 100 ohms à zéro degré Celsius auront les plus faibles erreurs de justesse, mais ils restent fragiles. Il en existe avec d'autres niveaux de résistances caractéristiques (500 ohms, 1 000 ohms) qui présentent une moins grande sensibilité à la résistance de lignes, mais ils sont moins justes. Les couples thermoélectriques (thermocouples) sont plus robustes, avec de bons temps de réponse, car leurs jonctions chaudes peuvent être mises en contact direct avec le milieu de mesure, mais ils présentent de plus fortes incertitudes (dispersion autour de la moyenne mesurée). Les autres technologies sont plus rarement utilisées.

Une bonne mesure de température s'avère souvent plus complexe qu'il n'y paraît. Trois éléments sont donc à prendre en compte. Tout d'abord, il faut définir le milieu de mesure dans l'espace (volume) et dans le temps. Cela est primordial pour choisir le thermomètre le plus adapté ainsi que la meilleure méthode de mesure. Les propriétés thermiques du milieu de la mesure impacteront la qualité de celle-ci. Un milieu conducteur pour un solide ou ayant une forte ventilation pour un volume sera plus simple à mesurer. Le second élément est le thermomètre. Il est composé d'une gaine (ou chemise) de protection comportant à une extrémité l'élément sensible et à l'autre, un plot de jonction d'où sortent les



Introduction d'un thermomètre dans un bain d'étalonnage.

ils de connexion au système de mesures. Il faut veiller à minimiser les effets perturbateurs influençant la mesure. Des écrans de protection peuvent être utilisés pour limiter les effets d'un rayonnement ou d'un flux d'air parasite.

Il faut se rappeler que la température mesurée correspond à celle « perçue » par l'élément sensible du thermomètre. Les transferts thermiques (conduction, convection et rayonnement) avec le milieu de mesure doivent être favorisés. Plus le milieu sera conducteur, plus la mesure sera rapide et moins affectée par les effets perturbateurs, externes. Côté sonde de mesure, il faut favoriser le couplage thermique avec le milieu. De la pâte thermique peut être utilisée pour l'améliorer et ainsi limiter l'effet des lames d'air statiques

isolantes. L'immersion du capteur est aussi un élément important. Cela permet de s'affranchir des flux externes. Une règle empirique donnant de bons résultats consiste à immerger la gaine du capteur d'au moins dix fois celle du diamètre de la sonde. Par exemple sur une conduite, il est préférable de poser la gaine de la sonde de mesure soit autour soit le long de celle-ci plutôt que perpendiculairement (ou seule l'extrémité de la sonde est en contact).

L'introduction même du thermomètre va créer un pont thermique avec l'extérieur. « Si le milieu, ne compense pas ses pertes, cela peut être problématique, pouvant aller jusqu'au refroidissement de la pièce ! » précise Jacques-Olivier Favreau, référent technique pour la thermométrie au Cetiati.

Une mesure demande un certain temps afin d'obtenir le régime établi entre la sonde et le milieu de mesure. Le capteur ayant aussi un temps de réponse intrinsèque. Or, la température à mesurer peut aussi évoluer dans le temps. Par exemple, une pièce sortant d'un four va se refroidir et l'introduction du thermomètre va accélérer ce refroidissement. Pour limiter ce biais le thermomètre peut-être préchauffé ou composé de matériau isolant au niveau du plot de jonction. L'utilisation d'un isolant sur le plot de jonction améliore généralement la mesure. Dans le cas où le milieu de mesure compense les pertes (générateur), la mesure en sera facilitée.

## Mesurer une température de peau ou de surface

Cette technique est utilisée à la fois pour mesurer directement la température de paroi ou indirectement pour mesurer une température interne. Il faut comprendre que pour ces deux mises en œuvre, les capteurs peuvent être identiques mais les méthodes seront différentes. Pour la mesure de température de peau, le capteur est souvent manuel. Il faut le poser directement sur la paroi sans pâte thermique, attendre la mise en température du capteur. L'utilisation d'isolant n'est alors pas recommandée. La mesure optimale correspondra à la température maximale affichée par le thermomètre. Celle-ci correspond au meilleur couplage thermique entre le capteur et la paroi à mesurer et il n'est pas nécessaire d'appuyer fortement.

Par contre, si l'objectif est de mesurer la température du milieu situé sous la paroi (interne), les capteurs généralement utilisés



sont fixés sur celle-ci. Dans ce cas, l'utilisation de pâte thermique est conseillée, sans toutefois en mettre de trop ! La pose d'un isolant sur le capteur pour limiter l'effet de l'air ambiant est aussi conseillée. Dans cette configuration, on cherche le meilleur couplage thermique avec la paroi tout en l'isolant de l'environnement. Pour ces deux configurations, l'incertitude sur les résultats de mesures est la plus importante de toutes les méthodes de mise en œuvre en thermométrie de contact. L'incertitude provient essentiellement de la méconnaissance de la conductivité thermique du matériau, puis de l'effet d'ailette, et de macro-contraction.

En plus d'un temps de réponse, le thermomètre peut avoir une erreur de justesse. Pour quantifier cette erreur de justesse et en permettre sa correction, l'étalonnage reste le moyen le plus sûr. Il fournit l'incertitude de mise en œuvre permettant d'évaluer la fiabilité du résultat de mesure. Un étalonnage sous l'accréditation Cofrac permet de garantir la traçabilité des résultats au système international d'unité. Un résultat d'étalonnage de ce type garantit la comparabilité des

résultats mondialement. Ainsi, une mesure réalisée et corrigée dans une usine donnera une mesure de température identique à celle réalisée dans un autre lieu aux incertitudes près. Attention, un capteur neuf n'est pas forcément étalonné.

Par exemple, pour un couple thermoélectrique de type K le critère de conformités de la norme NF EN 60584-1 est de 1,5 °C auquel il faut ajouter une valeur dépendante de la température (0,004 x |t|).

### Mesurer les pièces en mouvement

Pour les mesures de pièce en mouvement, les mesures sans contact peuvent être utilisées. Il s'agit des Thermomètre Infra Rouge (IR). Pour leurs bonnes mises en œuvre, il faudra connaître précisément l'émissivité de la paroi. Celle-ci, peut varier en fonction de l'état de surface du matériau. Par exemple, pour le cuivre, l'émissivité varie de 0,03 à 0,76 en fonction de l'état de surface du cuivre poli ou oxydé. Cette différence d'émissivité correspondrait à un écart important sur la température. Une astuce consiste à peindre avec une

peinture dont on connaît l'émissivité (de préférence noire mat ayant une forte émissivité) une partie de la surface de l'objet à mesurer afin de limiter le risque d'erreur de mesure. La bande spectrale du détecteur est à ajuster à la température souhaitée. Beaucoup de capteurs travaillent dans la bande de 8-14 µm. Le capteur ne « voit » pas la même chose que notre œil qui travaille dans la bande spectrale du visible. Attention, cette méthode peut fournir des températures différentes de celles recherchées. Par exemple, le Thermomètre IR pointant sur la vitre d'une plaque vitrocéramique pourrait mesurer la température de la résistance de chauffe plutôt que la surface ou l'on pose les casseroles. L'angle d'incidence a aussi une importance car l'émissivité dépend de l'angle de mesure. Ces mesures demandent une approche géométrique.

La mesure de température résulte d'un compromis entre les caractéristiques du milieu de mesure, l'impact du capteur et de l'environnement. Il faut se rappeler que le thermomètre mesure sa propre température et que celle-ci doit être le plus proche possible de celle de l'objet à mesurer.

**SCR sa**

Expert en solutions complètes pour le traitement thermique et l'automatisme

Nous répondons à l'ensemble des besoins par nos produits innovants et nos services d'ingénierie, que ce soit pour une installation neuve ou pour une modernisation (rétrofit).

**Systèmes de supervision**      **Sondes**      **Régulateurs**      **Fours spéciaux**

SCR sa - Swiss made      Tél : +41 32 474 47 27      www.scr-sa.ch