

La mesure de hautes températures présente bien des contraintes

La plupart des applications industrielles nécessitent d'effectuer des mesures de température ne dépassant pas une centaine voire quelques centaines de degrés Celsius. Cependant dans certains secteurs tels que la sidérurgie, la fabrication du verre, du ciment et de la chaux ou l'incinération de déchets, il est nécessaire de mesurer des températures avoisinant ou dépassant les 1 000 °C.

Les thermocouples permettent de mesurer au contact des températures autour de 1 000 °C.

La tenue à la température de l'unité de traitement électronique demeure cependant une priorité. Au-delà de 1 000 °C, la principale difficulté est d'opter pour les matériaux suffisamment résistants pour supporter une telle chaleur. En général, plus la température à mesurer est élevée, plus il faut déporter la partie électronique loin de la source thermique. C'est de toute façon l'environnement de l'application de mesure qui va permettre de déterminer la technologie de mesure appropriée : fibre optique, pyromètre, canne thermométrique...

Propos recueillis par Youssef BELGNAOUI



Frédéric BOUYON
Directeur de FTMesures



Bruno BURIONI
Responsable grands comptes
chez Chauvin-Arnoux
Pyrocontrôle



Antoine LAVAUX
Chef de produit contrôle
du mouvement, capteurs
et instrumentation
industrielle chez Sick



Séverine WOLAK
Consultante marketing
applications chez
Endress+Hauser France

La mesure de hautes températures présente bien des contraintes

en 8 questions

1. À partir de quel niveau parle-t-on de hautes températures ? **41**
2. Quelles sont les principales difficultés ou contraintes pour effectuer des mesures de hautes températures ? **41**
3. Quelles sont les techniques particulièrement bien adaptées aux mesures de hautes températures ? **42**
4. Les mesures de hautes températures sont-elles davantage sujettes à des dérives ? Comment peut-on en limiter l'impact ? **44**
5. Quels types d'applications nécessitent la mesure de hautes températures avec une grande précision ? **44**
6. Les systèmes de mesure de hautes températures exigent-ils des étalonnages plus fréquents, davantage de surveillance et d'entretien ? **44**
7. Quels avantages présentent les procédés de mesure par infrarouge par rapport aux techniques traditionnelles en matière de mesure de hautes températures ? **45**
8. Quels sont les progrès attendus dans le domaine des techniques de mesure de hautes températures ? **45**

1.

À partir de quel niveau parle-t-on de hautes températures, l'une des grandeurs physiques les plus mesurées dans l'industrie ?



Séverine Wolak : Une grande partie des applications industrielles nécessitent d'effectuer des mesures de température sur une étendue allant de -50 °C à 400 °C. Dans le domaine de l'agroalimentaire, on mesure le plus souvent des températures sur une plage allant de 0 °C à 200 °C, sachant que la température de stérilisation des équipements de production se situe à 140 °C. Dans le secteur de la chimie, de nombreux procédés se déroulent entre 100 et 200 °C ou de 300 à 400 °C. Mais on ne va guère plus haut. Dans le domaine de la métallurgie, les températures s'étalent de 400 °C à 1 000 °C. Chez Endress+Hauser, on parle de hautes températures à partir de 1 000 °C. Cela concerne par exemple des applications de mesure de températures sur des cheminées d'incinérateurs de déchets ou de vapeur sur des unités de production d'énergie.

Antoine Lavaux : La notion de hautes températures varie selon les sociétés fournisseur de matériel de mesure de température. Mais globalement au-dessus de 250 °C, on commence à parler de hautes températures.

Frédéric Bouyon : C'est plutôt la technologie de mesure employée qui va déterminer le plus haut niveau de température mesurable. 400 °C, c'est déjà de la haute température pour certaines de techniques de mesure par fibre optique. Les systèmes à fibre optique

sont généralement utilisés dans des environnements difficiles, notamment ceux exposés à des vibrations importantes, à une chaleur intense, aux parasites, à l'humidité, à des champs électromagnétiques, à des produits corrosifs ou à des risques d'explosion. Les fibres sont également adaptées aux espaces confinés puisqu'il est possible de plier ou courber de nombreux modèles pour les installer là où ils sont nécessaires.

Les capteurs mettant en œuvre une fibre optique à réseau de Bragg peuvent effectuer des mesures jusqu'à 1 000 °C pendant deux à trois minutes et jusqu'à 850 °C sur une longue période pouvant atteindre cinq ans. Ils offrent tous les avantages habituellement attribués à ces dispositifs optiques à savoir : une très faible perte sur la longueur de fibre, insensibilité aux champs électromagnétiques et aux interférences radio-fréquentielles. Ils peuvent être utilisés sans restriction dans les environnements explosifs ou en présence de produits dangereux. Et ils présentent en outre une sensibilité élevée d'une très grande fiabilité sur la durée. De plus, la technologie du réseau de Bragg offre une possibilité périodique inhérente au multiplexage et une capacité à fournir des mesures absolues sans avoir besoin d'un référencement. Elle représente une alternative aux capteurs classiques.



Bruno Burioni : On peut parler de hautes températures à partir de 1 100 °C. Au-delà de cette limite, il faut employer des matériaux spéciaux comme des thermocouples à base de platine. Ce qui constitue un changement de technologie. Les thermocouples définis dans la norme ont des plages de températures différentes et des comportements différents suivant l'atmosphère dans laquelle ils sont plongés. La connaissance de ces paramètres est indispensable pour le choix du type de thermocouple à utiliser.

2.

Quelles sont les principales difficultés ou contraintes pour effectuer des mesures de hautes températures ?



Séverine Wolak : Au-delà de 1 000 °C, la principale difficulté est d'opter pour les matériaux qui vont supporter un tel niveau de température. Il existe un certain nombre d'alliages qui résistent assez facilement jusqu'à 1 000 °C, mais de nombreux métaux ne tiennent plus à cette température. Il faut également trouver le matériau capable de protéger le capteur qui peut être soumis à des gaz corrosifs (souffrés ou azotés). Le matériau protecteur doit pouvoir résister à ce type d'agression. Endress+Hauser a notamment développé un alliage à base de Nickel et de Cobalt capable de résister à des températures atteignant 1 200 °. Cette solution est bien adaptée aux applications de mesures de hautes températures réalisées dans les incinérateurs et les cimenteries.



Antoine Lavaux : La tenue à la température de l'unité de traitement électronique est la contrainte majeure de ce type d'application. Plus la température à mesurer est élevée, plus il faut déporter la partie électronique loin de la source de chaleur. Pour effectuer une mesure avec contact, la technologie thermocouple permet de mesurer des températures au-dessus de 1 000 °C.



Frédéric Bouyon : La principale difficulté tient à l'accès au point de mesure. Comment atteindre le point de mesure avec un capteur ou un système à fibre optique ? Comment viser le point cible avec un pyromètre ? Il n'est parfois pas possible d'effectuer une mesure avec un pyromètre, car on n'a pas de visibilité directe sur la pièce. Par exemple, dans le cas d'un bain de coulée d'aluminium en fusion, une croûte se forme à la surface au contact de l'air. Pour effectuer la mesure, on casse cette croûte pour y plonger brièvement une canne pyrométrique qui peut effectuer des mesures entre 800 °C et 1 220 °C. En revanche, peu de

« Au-delà de 1 000 °C, la principale difficulté est d'opter pour les matériaux qui vont supporter un tel niveau de température. »

Séverine WOLAK

« C'est l'environnement de l'application de mesure qui va permettre de déterminer la technologie de mesure appropriée. »

Frédéric BOUYON

4.

Les mesures de hautes températures sont-elles davantage sujettes à des dérives ? Comment peut-on en limiter l'impact ?



Séverine Wolak : Les sondes de mesure de hautes températures sont sujettes à d'importantes dérives. Ces dérives sont inévitables, car c'est la structure de l'élément de mesure qui se modifie avec la température. Lorsque les jonctions du thermocouple sont soumises à des températures dépassant 1 000 °C pendant une longue période, le fluage des métaux les constituant modifie leur point de référence. Au bout de six mois d'utilisation, il n'est pas rare de constater des dérives de 4 à 6 %. Dans un incinérateur de déchets, la sonde de mesure dérive inexorablement et son système de protection peut s'user prématurément. On se contente donc de changer la sonde deux fois par an, car cela n'a aucun sens d'étalonner un capteur dont la constitution a été modifiée par son exposition aux très hautes températures. Dans certains cas, il est possible de changer uniquement l'insert et l'élément de mesure. Le transmetteur et le dispositif de protection peuvent rester en place.



Frédéric Bouyon : Avec un pyromètre, on ne constate pas de dérive si la tête de mesure est maintenue à une température stable. Au-dessus de 180 °C, on va mettre en place un système de refroidissement à eau et/ou un caisson de protection thermique. Les systèmes à fibre optique ne dérivent pas dans le temps. Dans le domaine pétrolier, pour la surveillance d'un champ de vapeur en milieu acide, nous avons par exemple installé une solution de mesure à 800 mètres de profondeur et sur 2 km de longueur. Nous n'avons constaté aucune

dérive des mesures effectuées jusqu'à 400 °C au bout de 8 ans.



Bruno Burioni : Les mesures de hautes températures sont effectivement davantage sujettes à des dérives à cause des contraintes thermiques et à la pollution liée à l'environnement du capteur ou à son enveloppe. On peut limiter son impact par un contrôle périodique du capteur et en procédant à un étalonnage régulier pour détecter cette dérive. À l'usage, en fonction des contraintes du process, un capteur de température perd plus ou moins vite son exactitude et de ce fait ne garantit plus la bonne mesure définie au départ (selon sa norme, sonde Pt 100 Ω ou thermocouple). Son étalonnage périodique est donc nécessaire. Un thermocouple dérive toujours à la baisse, de plusieurs degrés par an. Pour compenser ce phénomène, les industriels mettent leur process en surchauffe avec une marge suffisante pour intégrer cette dérive jusqu'au prochain étalonnage ; généralement une fois par an. Ils fixent ainsi une consigne supérieure à la température optimale pour le traitement thermique. Cette surchauffe a évidemment des conséquences : la création possible de défauts et d'hétérogénéités sur les pièces, l'usure prématurée des réfractaires et enfin une consommation excessive d'énergie. D'où l'intérêt de mieux maîtriser la dérive des capteurs.

5.

Quels types d'applications nécessitent la mesure de hautes températures avec une grande précision ?



Séverine Wolak : La précision des thermocouples selon IEC 60584 est valide avant leur première utilisation. Pour les thermocouples de type K de classe 1 qui peuvent mesurer des températures jusqu'à 1 200 °C, elle est

de : $1,5\text{ °C} + 0,004 \times \text{la température mesurée}$. Pour ceux de classe 2, la précision est de : $2,5\text{ °C} + 0,0075 \times \text{la température mesurée}$. La précision n'est toutefois pas déterminante pour les applications de mesure de hautes températures. Les capteurs de température sont essentiellement utilisés en tant qu'indicateurs. Ils permettent de vérifier que l'extraction de fumée d'une cheminée s'effectue correctement ou d'alerter de l'arrêt ou du dysfonctionnement d'un équipement, tel qu'un four par exemple.



Frédéric Bouyon : En général, pour des mesures de hautes températures, les clients nous demandent une précision de $\pm 5\text{ °C}$. Mais pour des mesures jusqu'à 800 °C sur un réacteur chimique avec une canne optique, on peut nous demander une précision de 1 °C. Au-dessus de 800 °C, il n'est toutefois pas possible de garantir une précision au degré près. Un pyromètre d'entrée de gamme va par exemple réaliser des mesures à 1 600 °C avec une précision de 16 °C, alors qu'un appareil haut de gamme offre en théorie une précision de $\pm 2\text{ °C}$ à 2 000 °C. De toute façon, de manière générale, les clients ne recherchent pas de la précision, mais surtout de la répétabilité : c'est-à-dire d'obtenir le même résultat pour des mesures effectuées sur deux pièces identiques.



Bruno Burioni : Les applications de mesure de hautes températures mises en œuvre dans des fours d'incinération ou des fours de traitement thermique sont exigeantes en termes de précisions. Ce qui représente un défi d'étalonner les capteurs avec un faible niveau d'incertitude.

6.

Les systèmes de mesure de hautes températures exigent-ils des étalonnages plus fréquents, davantage de surveillance et d'entretien ?



Séverine Wolak : Cela n'a pas de sens d'étalonner un capteur dont l'intégrité a été modifiée. Pour surveiller le phénomène de dérive, certains industriels installent plusieurs capteurs

de température à des endroits et à des moments différents afin de pouvoir comparer les valeurs fournies par les différents capteurs. On peut aussi évaluer le niveau de dérive du capteur en le vérifiant régulièrement dans un bain étalon. Une autre solution consiste à vérifier régulièrement le capteur lors des premiers mois d'utilisation. Ce qui permet de constater comment le capteur dérive sur une application précise et ainsi déterminer à quel rythme il faudra le changer : tous les 4, 6 ou 8 mois selon les installations.



Frédéric Bouyon : Les têtes de mesure pyrométriques sont enfermées dans des caissons de protection. On conseille de procéder à des vérifications tous les deux ou trois ans. En général, les systèmes à fibre optique sont installés dans des milieux où on ne peut pas accéder. Mais il n'y a pas de risque de dérive de l'élément de mesure optique. Il peut y en avoir sur l'unité de traitement électronique qui sera vérifiée de temps à autre.



Bruno Burioni : Oui, les solutions de mesure de hautes températures réclament un étalonnage fréquent. Une des solutions pour vérifier ou suivre les dérives est de procéder à des opérations d'étalonnage *in situ*. Les capteurs pyrométriques Pyrocontrôle avec étalonnage *in situ* vous permettent de suivre l'évolution de la dérive de vos capteurs de température dans le temps, par une méthode simple à mettre en œuvre. Cette technologie présente de nombreux avantages en termes d'économie d'énergie, de productivité, de qualité et de traçabilité. La diminution d'incertitude de vos mesures offre

la possibilité de baisser la consigne de chauffe d'où des économies d'énergie. En évitant les surchauffes, les équipements voient leur durée de vie améliorée. Le process reste disponible, plus besoin d'arrêter une fabrication ; l'étalonnage se fait sur l'équipement en fonctionnement, sans avoir à démonter les capteurs donc sans risque de casse. Les temps d'interventions sont réduits. Cette technologie apporte une grande souplesse dans le calendrier de suivi métrologique. La meilleure précision de vos mesures permet de diminuer vos écarts types ; la qualité du produit fini est améliorée et le suivi de qualité est facilité. Vous disposez finalement d'une meilleure traçabilité de votre process thermique.

7.

Quels avantages présentent les procédés de mesure par infrarouge par rapport aux techniques traditionnelles en matière de mesure de hautes températures ?



Séverine Wolak : Outre les mesures sans contact par infrarouge, certaines entreprises proposent des solutions de mesure de peau, sur une canalisation par exemple, qui, en tenant compte de la température ambiante et des matériaux constituant la conduite, calculent la température du produit circulant à l'intérieur, grâce à des algorithmes embarqués. Nous avons évalué ce type de solutions, mais nous avons constaté un écart de mesure de 4 °C. Ce type de solutions pourraient fonctionner en ajustant précisément les paramètres de mesure

aux spécificités de l'application, mais les industriels n'ont pas de temps à consacrer à de tels ajustements.



Bruno Burioni : Les systèmes de mesure sans contact ne sont pas sujet aux problématiques d'usure, mais ils sont en revanche moins précis et plus chers. Ils nécessitent en outre des réglages pointus et réguliers.

8.

Quels sont les progrès attendus dans le domaine des techniques de mesure de hautes températures ?



Séverine Wolak : On peut s'attendre au développement de nouveaux matériaux qui puissent offrir de meilleures performances en termes de tenue à la corrosion et aux hautes températures.



Frédéric Bouyon : Comme la silice fond à 1 200 °C, des progrès sont attendus afin de pouvoir effectuer des mesures par des systèmes à fibre optique au-delà de 1 000 °C.



Bruno Burioni : Les principales limitations que l'on rencontre aujourd'hui sont liées aux matériaux et à leurs capacités de résistance à ces hautes températures ●

Tous vos abonnements sont sur

www.souscrivez.com

« La tenue à la température de l'unité de traitement électronique est la contrainte majeure de ce type d'application. »

Antoine LAVAUX

croûte se forme à la surface d'une coulée d'acier (1 450 °C). Il est donc possible d'effectuer des mesures avec un pyromètre. Les mesures de hautes températures nécessitent également de s'adapter aux contraintes environnementales et de protéger le système de mesure d'une trop forte exposition à la source de chaleur.



Bruno Burioni : La principale difficulté pour réaliser des mesures de hautes températures est de trouver les matériaux résistants à ces températures qui puissent protéger le circuit de mesure. Une autre difficulté est de positionner le capteur à l'endroit approprié afin de mesurer correctement la température du process.

Les puits thermométriques (ou doigts de gant) et les tubes de protection sont utilisés pour protéger les éléments de mesure des thermocouples (soudure chaude) ou sonde Pt100 contre les dommages mécaniques et contre les milieux corrosifs ou contaminants. Les différents types de construction disponibles permettent à l'utilisateur de choisir la bonne combinaison en fonction de ses besoins. Par exemple : les tubes de protection en fonte sont principalement utilisés dans les installations utilisant de l'aluminium, du magnésium ou du zinc en fusion. Les tubes en céramique sont quant à eux utilisés dans les industries telles que : les industries sidérurgiques, l'industrie du verre, du ciment et de la chaux. Leurs principaux avantages sont leur résistance aux hautes températures et aux chocs thermiques, leur inertie chimique, leur bonne résistance à l'abrasion et leur rigidité diélectrique élevée.

Les puits thermométriques doivent remplir deux missions principales : la première est de protéger les capteurs de température contre la corrosion ou l'oxydation liée au traitement et contre les contraintes mécaniques. Chacun des matériaux susmentionnés fournit différents degrés de protection pour différentes

conditions de fonctionnement. Ils permettent également de démonter les capteurs sans arrêter la production. La deuxième est d'assurer la sécurité de l'installation en réalisant une étanchéité parfaite entre le process et l'extérieur. Ils doivent donc être conçus pour résister aux conditions, parfois sévères, de pression, débit, viscosité du fluide dans lequel ils sont plongés.

De nombreuses variétés d'aciers et d'alliages à base de nickel sont utilisées pour la fabrication des puits thermométriques. Aucun autre matériau n'est en mesure de supporter les conditions de fonctionnement requises. Il est important d'utiliser le bon métal pour concevoir ce type de produit. Il est évident que l'utilisation d'un métal inadapté entraînera un dysfonctionnement prématuré et qu'un métal dépassant les caractéristiques requises pour une installation donnée engendrera des frais inutiles. Les principaux métaux utilisés pour la fabrication de doigts de gant sont l'acier au carbone, les aciers au chrome-molybdène, les aciers inoxydables (304, 310, 316, 321, 347, 304L, 316L, 446) et les alliages à base de nickel (Inconel, Incoloy, Hastelloy).

Pour de nombreuses applications, la température est trop élevée pour effectuer des mesures avec des matériaux en acier inoxydable standard ou avec des doigts de gant fabriqués avec des alliages à base de nickel. Les aciers inoxydables les plus courants et les alliages à base de nickel fondent avant ou à 1 400 °C et s'affaiblissent ou deviennent moins rigides avant d'arriver aux alentours de 1 400 °C. D'autres matériaux doivent être utilisés pour ce type d'applications. Il existe deux types de métaux avec un point de fusion bien supérieur aux aciers inoxydables et aux alliages à base de nickel. D'abord, le tantale à 2 996 °C puis le molybdène à 2 610 °C. La nature de ces métaux limite toutefois leur utilisation à forte température. Ils s'oxydent rapidement (le tantale au-dessus de 276 °C et le molybdène au-

dessus de 500 °C). Ils ne peuvent donc pas être utilisés pour la fabrication de puits thermométriques, sauf dans des milieux strictement non oxydants. Par ailleurs, ils coûtent trop cher pour être utilisés pour la fabrication de puits thermométriques ou de tubes de protection en standard. Seules quelques applications utilisent ces matériaux, comme les fours de frittage pour l'industrie nucléaire. La solution est d'utiliser des tubes de protection en matériaux non métalliques ou céramiques. Il existe de nombreux matériaux de ce type résistants aux fortes températures, chacun avec ses propres capacités : le quartz, le carbure de silicium, le nitrure de bore, la mullite et l'alumine. Bien que ces matériaux présentent différents degrés de résistance aux fortes températures, ils ont également leurs inconvénients. Étant presque entièrement composés de céramique, ils sont extrêmement cassants et peuvent être brisés assez facilement lorsqu'ils subissent un choc mécanique. En outre, la plupart de ces matériaux ont une très faible résistance aux chocs thermiques. Si le matériau est exposé subitement à une flamme sur un côté, il se dilate. Étant donné que l'autre côté est plus froid, la dilatation n'est pas uniforme. Si le choc thermique est suffisamment important, le tube de protection finira par se fissurer. Plus le coefficient de dilatation thermique de ces matériaux est faible, plus ils seront résistants aux chocs thermiques et ils se fissureront donc moins facilement.

3.

Quelles sont les techniques particulièrement bien adaptées aux mesures de hautes températures ?



Séverine Wolak : Les sondes RTD ne sont opérationnelles que jusqu'à 400 °C ou 600 °C. Au-delà, seuls les thermocouples de type K et J sont appropriés. Les premiers peuvent mesurer des températures jusqu'à 1 000 °C alors que les seconds peuvent atteindre 1 200 °C. Au-delà de 1 200 °C, il est possible de recourir à des thermocouples plus coûteux mettant en œuvre des alliages

plus nobles composés de Rhodium ou même de platine. Concernant le protecteur de la sonde de mesure, au-delà de 1 200 °C, il n'existe pas de matériaux abordables en termes de prix. Le tungstène pourrait être l'option miracle, mais elle est très onéreuse. Les céramiques présentent quant à elles une très bonne tenue en température et aux agents corrosifs. Elles sont en revanche très fragiles. Elles peuvent facilement se briser durant leur transport et leur manipulation. Il existe différentes sortes de céramiques qui présentent selon les cas des tenues en température de 1 000 °C, 1 200 °C ou 1 600 °C. La céramique est le seul recours possible lorsque les métaux ne répondent pas aux exigences de protection de l'application. Elle est néanmoins poreuse. Ce qui peut conduire à l'absorption de certains gaz qui peuvent alors s'échapper de l'enceinte de confinement. Des capteurs de température avec protecteur en céramique sont par exemple couramment installés sur les torchères de biogaz dont la température peut atteindre 1 400 °C.



Antoine Lavaux : Les techniques de mesure sans contact telles que les pyromètres infrarouges sont des solutions bien adaptées aux mesures de hautes températures puisque la mesure s'effectue de façon déportée. Ce sont des solutions non intrusives qui présentent des temps de réponse rapides.



Frédéric Bouyon : C'est l'environnement de l'application de mesure qui va permettre de déterminer la technologie de mesure appropriée : fibre optique (réseau de Bragg, interférométrie en lumière blanche...), pyromètre, canne thermométrique... C'est en fonction de la problématique de mesure du client et des conditions environnementales que l'on va choisir la technique

la plus appropriée. Si l'on doit équiper un incinérateur, la solution sera différente s'il s'agit de vérifier la flamme ou d'effectuer des mesures de températures à l'intérieur du caisson. Dans le domaine de la sidérurgie, on utilise en général des systèmes infrarouges capables d'effectuer des mesures jusqu'à 1 800 °C.



Bruno Burioni : Le thermocouple est particulièrement bien adapté à ce type de mesure. Il en existe une multitude de variantes, de formes, de tubes de protection... Il faut donc choisir le type de thermocouple qui répond aux exigences de l'application, à l'environnement d'utilisation, à la précision attendue et surtout à la température à mesurer. D'une manière générale, les thermocouples sont très employés dans l'industrie en raison de leur polyvalence : ils peuvent être utilisés sur une échelle de température très large jusqu'à 2 000 °C, ont un temps de réponse rapide et une durée de vie élevée. Ils sont par ailleurs robustes, car de fabrication relativement simple et résistent très bien aux chocs et aux vibrations. Ils s'intègrent également facilement du fait de leur faible encombrement. Aucun thermocouple n'est conçu pour répondre à tous les besoins. De nombreux types de thermocouples sont aujourd'hui disponibles sur le marché. Chacun présente des avantages et des inconvénients qu'il faut connaître pour déterminer s'il est adapté à l'environnement dans lequel il sera utilisé. Il s'agit de trouver le meilleur compromis. Il existe plusieurs modes de fabrication. Les plus courants sont les thermocouples à fils nus et les thermocouples à isolation minérale. Le thermocouple à fils est le plus basique. Il est composé de deux métaux de nature différente reliés à une extrémité afin de créer une jonction de mesure (soudure chaude). Le point commun de ce type de thermo-

couples est qu'ils ont tous une jonction de mesure exposée. Pour la plupart d'entre eux, les avantages sont : temps de réponse rapide, solidité et utilisation à hautes températures. Le fait que la jonction soit exposée est toutefois un inconvénient, car cette exposition le rend sensible à l'environnement (notamment aux milieux oxydants et réducteurs). Une protection est donc nécessaire. Afin de pallier les inconvénients des modèles à fils, les thermocouples à isolation minérale peuvent être utilisés. Les deux fils du thermocouple sont incorporés dans un isolant céramique et sont protégés par une gaine métallique. Pour que le thermocouple dure longtemps, des gaines étanches aux contaminations par les produits chimiques et aux compositions physiques connues sont utilisées.

Les paramètres les plus importants à prendre en considération dans le choix des isolations minérales sont la limite de température maximale et les performances à cette température. D'autres paramètres peuvent bien évidemment être pris en considération, tels que la résistivité, la pureté et la fragmentation. Ces paramètres sont toutefois secondaires par rapport à la température. Par exemple : le MgO, qui est l'isolant le plus utilisé a une limite de température maximale de 2 395 °C, une haute résistivité, une excellente pureté et une très bonne solidité.

De nombreux matériaux peuvent être utilisés pour protéger les thermocouples à isolation minérale. Les deux paramètres les plus importants à prendre en considération pour le choix de la gaine sont : la température de fonctionnement et le milieu. Celui-ci peut être oxydant, réducteur, neutre ou bien sous vide. Par exemple, la gaine en inox 304 peut être utilisée dans tout type de milieu avec une température de fonctionnement maximale de 890 °C.

Dans de nombreuses applications, les thermocouples à fils nus de type K peuvent être utilisés (température inférieure à 1100°C). Nous recommandons les types emperlés pour les thermocouples platine / rhodium, qui peuvent être soumis à des températures plus élevées. Pour utiliser les thermocouples de type R, S et B, nous utilisons une taille nominale du fil de 0,5 mm. L'isolant utilisé pour ce type de thermocouple est de l'alumine pure à 99,7 %.

« D'une manière générale, les thermocouples sont très employés dans l'industrie en raison de leur polyvalence : ils peuvent être utilisés sur une échelle de température très large jusqu'à 2 000 °C. »

Bruno BURIONI