

# Guide d'achat

MESURES PHYSIQUES

## Étalonner les capteurs de température

▼ Un générateur de température, une sonde de température étalon et une chaîne de référence sont les équipements indispensables pour réaliser l'étalonnage de capteurs de température. On peut rajouter aussi une centrale d'acquisition et un logiciel d'étalonnage. L'industriel a la possibilité de réaliser ses étalonnages sur site ou dans son atelier de métrologie. Au lieu de faire, il peut aussi décider de faire faire. Face à ces choix, il devra tenir compte de son parc de capteurs, des incertitudes, de son budget...

L'industriel pragmatique ne peut pas s'empêcher de se poser la question : « Pourquoi payer 300 euros un étalonnage pour un thermocouple qui vaut 150 euros? Autant en acheter un neuf ». « Tout simplement parce que remplacer un capteur par un autre n'est pas une bonne attitude métrologique, répond Jean-Michel Holin, responsable essais métrologie chez MB Electronique. L'assurance de la qualité est la garantie de la continuité d'un processus ». Pour la traçabilité des mesures, il est nécessaire de conserver le même capteur, en le ré-étalonnant tout au long de sa durée de vie.

Tous les industriels n'en sont pas encore convaincus. Même si les normes de qualité comme l'ISO 9000 ont fait prendre conscience de l'importance des étalonnages et des vérifications des capteurs, la mesure de température reste souvent la moins bien surveillée. « Il y a encore beaucoup à faire pour les mesures de température dans l'industrie », reconnaît Jacques Favreau, responsable qualité au sein de

l'unité en charge de la température au Laboratoire National d'Essais (LNE).

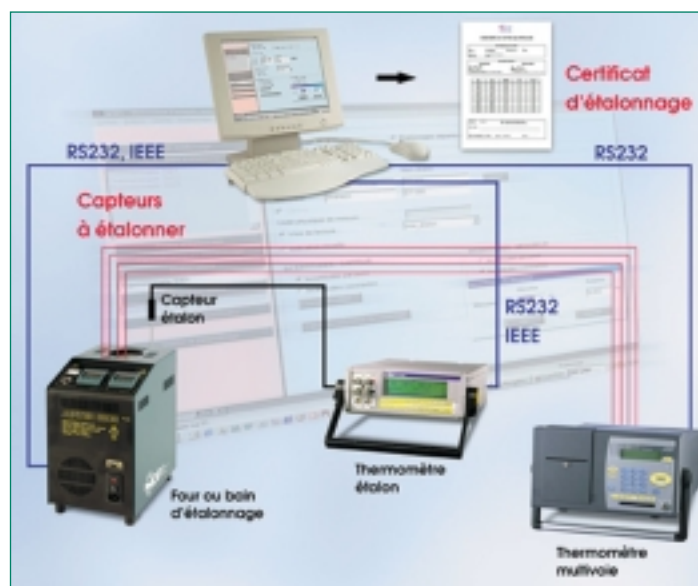
Pour éveiller les consciences, l'aspect économique est souvent le meilleur argument. « Jusqu'à présent, dans le traitement thermique, les industriels se contentaient d'une indication en température à plus ou moins 40 °C, explique Patrice Nicolas, responsable qualité du pôle Equipements Thermiques chez Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux. Ils s'aperçoivent aujourd'hui qu'en optimisant la température de traitement, ils gagnent en temps de cycle et en consommation d'énergie ».

En optant pour une "attitude métrologique", qui consiste donc à ne pas jeter systématiquement ses capteurs, l'industriel, en fonction de critères financiers ou techniques, va faire des choix en termes de solutions, de moyens, d'équipements d'étalonnage. Encore faut-il se poser les bonnes questions.

### 1- Etalonnage en interne ou en externe ?

Pour répondre à cette question, le premier critère est économique et il va dépendre du nombre de capteurs. Par un petit calcul, on s'aperçoit qu'il devient rapidement plus avan-

tageux de réaliser soi-même ses étalonnages. La méthode par comparaison (qui consiste à comparer la mesure du capteur à étalonner à celle d'un capteur de référence) nécessite au minimum un mesureur appelé encore thermomètre étalon ou chaîne de référence, un générateur de température (un bain ou un four) et un capteur étalon. « On peut avoir une solution d'étalonnage industrielle pour moins de 10 000 euros, souligne Claude Huiban, responsable produits chez AOIP. Et il faut compter environ 250 euros pour un étalonnage en trois points à  $\pm 0,05$  °C, sans les frais d'envoi. Dès une quinzaine de capteurs, une solution en interne est très vite rentabilisée ». Et c'est d'ailleurs le cas le plus général. « La plupart du temps, l'industriel étalonne lui-même ses capteurs de travail et fait étalonner en externe ses outils étalons », souligne Mohammed Megharfi, responsable de l'unité température, hygrométrie, viscosimétrie au Centre de Métrologie et d'Instrumentation du LNE. Faire ses étalonnages chez soi réduit le temps d'immobilisation des capteurs, par rapport à une solution externe. « Une solution en interne apporte une meilleure réactivité, précise Jean-Louis



AOIP

### Essentiel

- ▶ L'incertitude souhaitée détermine les choix que l'utilisateur doit faire
- ▶ Il est préférable d'étalonner l'ensemble de la chaîne de mesure
- ▶ L'étalonnage automatique : une boîte noire à ne pas laisser entre toutes les mains

Jouannaud, responsable des produits Hart Scientific chez MB Electronique. Elle permet de lever des doutes quasiment en temps réel, de vérifier rapidement un capteur après une panne ». D'autres arguments peuvent néanmoins entrer en considération, comme la fréquence des étalonnages, la disponibilité et la compétence du personnel ainsi que l'incertitude globale d'étalonnage requise. Il ne faut pas non plus oublier le coût du suivi des étalons eux-mêmes : étalonnage du capteur étalon, caractérisation du four ou du bain, étalonnage du thermomètre.

## 2- Pour quelle incertitude ?

L'incertitude globale d'étalonnage est déterminée par les différentes sources d'incertitude (incertitude du capteur étalon, incertitude du thermomètre, homogénéité et stabilité du bain ou du four). On choisit un niveau d'incertitude globale d'étalonnage en fonction de l'Erreur Maximale Tolérée (EMT). La norme NFX-07-010 (fonction métrologique dans l'entreprise) préconise un rapport de 3 à 10 entre incertitude et EMT. Au LNE, laboratoire de référence, M. Megharfi penche plutôt vers un rapport 10. Les four-

nisseurs sont moins exigeants. « Une mesure de température est relativement délicate, on prend le plus souvent un rapport 3 », souligne Claude Huiban (AOIP). M. Holin (MB Electronique) justifie statistiquement un rapport 4 : « Une incertitude est généralement donnée à  $2\sigma$ , c'est-à-dire avec un intervalle de confiance de 95 %. Avec un rapport 4, le risque d'un étalonnage moins "précis" que la mesure est inférieur à 0,1 % ». Quant à l'Ecart Maximal Toléré, celui-ci doit être défini en fonction de l'influence de la température sur le process. Ce n'est pas forcément le plus facile à déterminer... L'industriel s'appuie sur son expérience, parfois aussi sur les fiches techniques des fournisseurs...

## 3- Etalonnage sur site ou en atelier ?

L'étalonnage sur site a longtemps été mal considéré, la métrologie étant une affaire de laboratoire et de blouses blanches. Les mentalités ont évolué avec la prise de conscience qu'il vaut souvent mieux contrôler le fonctionnement d'un appareil dans ses conditions d'utilisation. Depuis quelques années, l'étalonnage sur site a même acquis ses lettres de noblesse. Le Cofrac, qui accrédite les labo-



Hart Scientific

Les sondes étalon à résistance sont fabriquées à la main en platine pur. Les meilleures sont sélectionnées et vieilles. Elles sont donc chères.

ratoires d'étalonnage et d'essais (voir encadré), accepte en effet d'accréditer des prestations sur site. Condition *sine qua non* : avoir une première accréditation pour des étalonnages en laboratoire. Dans le domaine de la température, deux laboratoires ont reçu une accréditation pour des étalonnages sur site, il s'agit du Cetiât à Villeurbanne (69) et de la société Thermo-Est à Maizières les Metz (57). Il est donc possible pour l'industriel de soustraire cette activité. S'il veut le faire lui-même, il trouvera à sa

## Les cellules points fixes, encore peu utilisées dans l'industrie

Les points fixes de température constituent les jalons de l'échelle internationale de température EIT690. Tout comme l'eau bout à 100 °C et fond à 0 °C, les transitions de phase de certains métaux offrent des paliers stables de température. Ainsi, le point de congélation de l'argent définit la température de 961,78 °C, le point de fusion du gallium celle de 29,7646 °C.

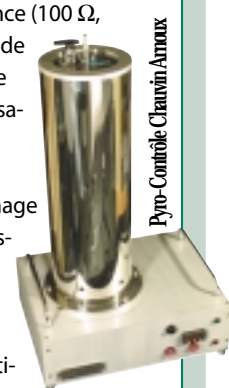
Les cellules points fixes sont le summum de la métrologie en température, ce qui se fait de mieux en incertitude. Au sein du Bureau National de Métrologie (BNM), elles représentent les étalons nationaux conservés au BNM-INM (Institut National de Métrologie) qui sont transférés vers l'industrie par le BNM-LNE. Cette méthode d'étalonnage "absolue" s'affranchit, contrairement à la méthode par comparaison, des caractéristiques d'un capteur de référence. Elle est donc plus précise. Ceci est vrai surtout pour les étalonnages de thermocouples. Pour se fixer les idées, dans un laboratoire de métrologie accrédité, l'incertitude d'un thermocouple de type S au point d'argent est de  $\pm 1,3$  °C avec la méthode par comparaison, de  $\pm 0,6$  °C avec la méthode des points fixes.

En pratique, une cellule comprend un métal pur conditionné dans un creuset lui-même supporté par une cellule en quartz avec un puits pour insérer le capteur à étalonner. Au moment de l'étalonnage, l'ensemble est introduit dans un générateur de température. Les laboratoires de référence utilisent des grandes cellules contenant jusqu'à un kilogramme de métal pur. Pour les besoins des industriels, il existe sur le marché des mini-cellules avec seulement quelques grammes de métal. Ainsi, les mini-cellules développées par le BNM-INM sont fabriquées et commercialisées par Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux. La diffusion de ces cellules reste marginale, non pas à cause de leur prix (autour de 10 000 euros), mais parce qu'elles ont la réputation d'être difficiles à mettre en œuvre et qu'elles n'autorisent l'étalonnage que d'un seul capteur à la fois. Certains grands groupes, dotés d'un laboratoire d'étalonnage, s'en offrent une pour un point de température particulièrement important pour leur production et s'en servent généralement pour étalonner un capteur étalon. Le point triple de l'eau est le plus répandu pour étalonner les

sondes à résistance puisque c'est à ce point de température que la résistance (100  $\Omega$ , 25  $\Omega$ ) est définie. Le point fixe de glace fondante à 0 °C peut être utilisé pour vérifier la compensation des soudures froides des thermocouples.

Afin d'atténuer la mauvaise image de ces mini-cellules, les fournisseurs s'efforcent de développer des produits plus industriels. Ainsi, Hart Scientific propose une solution automatisée qui intègre une cellule au point triple de l'eau associé à un four. « Mais par crainte de casser un mythe, il n'est pas toujours bien vu d'innover en métrologie », tient à souligner Jean-Michel Holin (MB Electronique).

Voir l'article dans Mesures – Février 2001 :  
Les points fixes descendent dans l'industrie.



Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux

Fabricant (Distributeur)	Téléphone	Fax
Isotech (AOIP)	01 69 36 50 50	01 60 79 08 37
Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux	04 72 14 15 40	04 72 14 15 41
GE Kaye	01 39 30 29 79	01 39 30 29 78
Hart Scientific (MB Electronique)	01 39 67 67 67	01 39 56 53 44

## Le noir pour l'infrarouge

Pour l'étalonnage de pyromètres infrarouge, les fournisseurs ont dans leur mallette des appareils à corps noirs adaptés à une utilisation industrielle.

Il en existe des sphériques, des cylindriques ou même des surfaciques. Le corps noir à l'intérieur d'un four est chauffé à la température de consigne. Les principales caractéristiques à prendre en compte sont la qualité de la régulation du four, le temps de montée en température et sa stabilité. Les corps noirs les plus stables sont à forme sphérique ou cylindrique (un tube en céramique entouré de résistances chauffantes). Mais pour la plupart, la stabilisation de la température est très lente. Elle peut prendre plusieurs heures. Ce type de corps noir s'adresse plutôt au laboratoire de métrologie. Les industriels préfèrent les corps noirs de surface, beaucoup plus rapides à se stabiliser mais avec une qualité de mesure beaucoup moins bonne. La différence de prix ne laisse pas d'ambiguïté : de 3 000 euros pour des corps noirs en plaque jusqu'à 150 000 euros pour des



corps noirs sphériques.

En pratique, l'utilisateur place son pyromètre (avec l'émissivité réglée à 1) devant le corps noir. Il compare alors la température donnée par son pyromètre et celle du corps noir (température de consigne du four).

« Dans ces conditions, l'incertitude n'est pas très bonne, souligne Jean-Louis Jouannaud, responsable des produits Hart Scientific à MB Electronique, aux alentours du degré ». Pour améliorer cette incertitude, les constructeurs peuvent placer derrière le corps noir une sonde de référence qui mesure directement la température du corps noir. On peut ainsi s'approcher de la valeur d'incertitude de la sonde de référence. « En tout cas, on améliore l'incertitude au moins d'un facteur 10 », précise M. Jouannaud.

Autre solution : la valeur lue par le pyromètre à étalonner peut être comparée à celle donnée par un pyromètre étalon. « Un pyromètre étalon, ça n'existe pas, s'insurge Antoine Grosse, directeur de la filiale d'Impac. Intrinsèquement, tous les pyromètres ont

en effet la même qualité métrologique ». Un pyromètre devient étalon lorsqu'il est utilisé d'une manière différente qu'un pyromètre de travail, c'est-à-dire qu'il ne traîne pas sur un établi, qu'il n'est pas monté sur une machine. Il est manipulé avec respect et de manière ponctuelle. La plupart du temps, il doit être rangé dans une armoire. De plus, un pyromètre ne peut servir d'étalon que s'il a exactement les mêmes caractéristiques que le pyromètre à étalonner : même nature du capteur (InGa, Silicium...), même bande spectrale, même plage de température.

Fabricant (Distributeur)	Téléphone	Fax
Ahlborn	01 30 47 22 00	01 30 47 28 29
Eurotron Instruments	03 85 26 07 95	03 85 26 09 79
ESPI-Heitronics	01 34 77 07 60	01 34 77 07 89
Hart Scientific (MB Electronique)	01 39 67 67 67	01 39 56 53 44
Impac	03 88 98 98 01	03 88 98 97 32
Ircon	31 33 450 4321	31 33 450 4320
Isotech (AOIP)	01 69 36 50 50	01 60 79 08 37
Land Infrarouge	01 34 62 05 45	01 30 56 51 12
Newport Omega	01 61 37 29 00	01 30 57 54 27
Raytek	01 64 53 15 40	01 64 53 15 44
Thermo-Est	03 87 80 68 18	03 87 51 72 04
Williamson (Elcowa)	03 89 43 54 58	03 89 42 85 50

disposition des équipements portables, appelés alors étalon de travail. L'avantage de cette solution "mobile" est le temps d'immobilisation qui est réduit au strict minimum : le temps d'étalonnage lui-même.

Pour améliorer la portabilité dans le cas d'éta-



Le four d'Ametek est une chaîne d'étalonnage à lui tout seul jusqu'au logiciel intégré.

lonnage sur site, il est possible de limiter le nombre d'équipements en réduisant la chaîne d'étalonnage au simple bain ou four. La sonde interne du générateur (bain ou four), qui sert à la régulation de la température, est utilisée comme sonde de référence. La valeur de la température lue sur l'indicateur de la sonde à étalonner est comparée à celle affichée sur l'indicateur du four (ou du bain). La sonde interne n'est généralement pas une sonde étalon mais les fournisseurs de fours peuvent proposer une sonde étalonnée, ce qui permet de garantir une traçabilité de la mesure. Après, c'est encore une question d'incertitude en fonction de l'Erreur Maximale Tolérée. Cette méthode est néanmoins controversée. « Les bains ou les fours ne servent qu'à générer une température, affirme M. Megharfi (LNE). Ce ne sont pas des instruments de mesure, encore moins d'étalonnage ».

Pour rester dans les règles de l'art, mieux vaut donc se constituer une "vraie" chaîne d'étalonnage portable, avec une sonde étalon externe associée à un thermomètre étalon. Pour environ 2 500 euros, il existe sur

le marché des petits thermomètres portables, certains fonctionnent même sur batterie.

Le niveau d'incertitude globale souhaité peut conditionner le choix d'une solution sur site ou en atelier. Les fours et les bains transportables sont généralement moins homogènes et moins stables, sans compter les incertitudes qui se rajoutent, liées aux conditions plus difficiles d'utilisation.

Certains industriels, les plus fortunés, s'équipent donc d'une chaîne de laboratoire pour étalonner leurs étalons de travail. Cette chaîne de référence servira alors une ou deux fois par an. D'autres, qui possèdent un parc important de capteurs choisissent une solution en atelier pour étalonner plusieurs sondes en même temps avec des procédures d'étalonnage plus ou moins automatisées. Les bains ou les fours de laboratoire sont conçus pour accepter plusieurs capteurs.

### 4- Faut-il étalonner le capteur seul ou avec sa chaîne de mesure ?

Il est préférable d'étalonner l'ensemble de la chaîne de mesure, c'est-à-dire le capteur avec

le convertisseur et l'indicateur ou le régulateur qui lui sont associés. « Il faut toujours s'efforcer d'établir des conditions d'étalonnage les plus proches possibles des conditions d'utilisation », souligne M. Megharfi (LNE).

Parfois pour des raisons pratiques, il n'est pas possible d'étalonner la chaîne d'un seul bloc. C'est le cas notamment lorsque l'utilisateur a besoin de remplacer son capteur pendant l'étalonnage (il est beaucoup moins évident de remplacer toute la chaîne). Il faut alors étalonner les constituants les uns après les autres. Ainsi, indicateurs, convertisseurs, régulateurs sont vérifiés par des simulateurs de signaux électriques. Ceux-ci génèrent des signaux en  $\mu V$  ou en  $\Omega$  pour simuler le signal fourni par des thermocouples ou des sondes à résistance. L'étalonnage se fait par comparaison entre la valeur fournie par le simulateur et celle affichée sur l'indicateur ou le régulateur. Il existe pléthore de simulateurs sur le marché, qui sont capables de générer tous les types de signaux électriques. On en trouve des petits, des gros, des portables, des fixes... La qualité métrologique de ces appareils est fortement dépendante de la stabilité du signal généré dans le temps. Ces simulateurs servent également en cas de panne ou de dysfonctionnement d'une chaîne de mesure. En vérifiant les constituants les uns après les autres, ils permettent de localiser l'origine du défaut.

« Il ne suffit pas d'étalonner chaque élément les uns après les autres. Pour obtenir une incertitude de l'ensemble de la chaîne, il faut également évaluer l'incertitude liée aux câbles et à la connectique qui peuvent générer des forces électromotrices parasites », explique M. Megharfi qui doute que tous les industriels en tiennent compte. Il souligne également l'importance pour les couples thermoélectriques de la compensation de la soudure froide : « L'indicateur fait lui-même la compensation ou utilise une valeur fixe. La qualité de l'indicateur dépend de la qualité de la soudure froide qu'il est donc nécessaire de vérifier ».

## 5- Choisir son capteur étalon

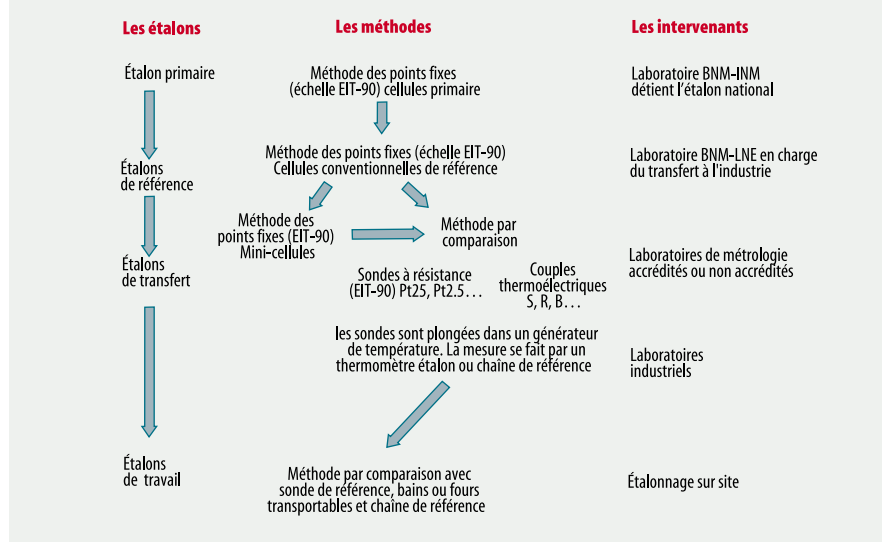
Les sondes à résistance platine sont les seules reconnues par l'EIT 90, l'échelle internationale en température. Pour les hautes températures, il existe des thermocouples étalon. « Les sondes de platine sont étalonnées jusqu'à 660 °C et on extrapole la courbe d'étalonnage jusqu'à 800 °C environ, explique M. Jouannaud, (MB Electronique). Au-delà, on prend des thermocouples de référence ». M. Nicolas (Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux) préconise l'usage d'une sonde platine jusqu'à 450 °C, puis un thermocouple S (platine/platine rhodié 10 %) pour les plus hautes températures, jusqu'à environ 1 600 °C. Après

## Les laboratoires d'étalonnage

« N'importe qui peut faire des étalonnages pourvu qu'il accepte d'en faire quand on lui en demande », ironise M. Megharfi (LNE). Cette liberté laisse évidemment les portes grandes ouvertes à toutes les supercheries. Pour s'en prémunir, il existe cependant des garde-fous. Le premier est la chaîne de raccordement métrologique. Le prestataire doit être en mesure de prouver, certificat à l'appui, que ses moyens d'étalonnage sont "raccordés", c'est-à-dire qu'ils sont eux-mêmes étalonnés par des moyens de qualité métrologique supérieure (voir schéma). Il doit être possible ainsi de remonter jusqu'au laboratoire de référence nationale : le BNM-LNE pour la France, le Nist pour les Etats-Unis... Verrou de sécurité supplémentaire : l'accréditation. Celle-ci est délivrée

par un organisme national d'accréditation, le Cofrac en France, le DKD en Allemagne, le NKO aux Pays-Bas... Malgré quelques restrictions, le principe de reconnaissance mutuelle des accréditations entre les pays semble aujourd'hui acquis. Elle apporte une garantie non seulement sur les équipements d'étalonnage mais également sur les méthodes, les procédures et la compétence du personnel. Il est régulièrement audité par l'organisme d'accréditation. Une accréditation porte sur une étendue de mesure à un certain niveau d'incertitude. Le laboratoire peut réaliser des étalonnages en dehors de ces spécifications (s'il a des équipements raccordés pour ça) mais il ne doit pas dans ce cas-là faire apparaître le logo Cofrac sur le certificat d'étalonnage.

### Chaîne de raccordement à l'étalon national



la plage de température, la seconde caractéristique à prendre en compte est l'incertitude, en fonction, comme on l'a déjà dit, de l'EMT choisi par l'utilisateur. Autre paramètre très important, la stabilité dans le temps, qui peut être inférieure à quelques centièmes de degrés par an. Tout vient donc de la qualité de la fabrication. Pureté des matériaux, qualité du traitement thermique, qualité des constituants de la gaine... Les sondes sont généralement faites à la main. Dans la chaîne de production, les meilleures sont sélectionnées puis vieillies afin d'améliorer leur stabilité. Les fournisseurs le reconnaissent, plus la sonde est de bonne qualité, plus elle est chère. Pas moins de 1 200 euros, souvent au-delà de

2 000 euros. Et il faut s'assurer que le prix de l'étalonnage (évidemment impératif pour une sonde étalon) est inclus.

## 6- Bain ou four ?

Un bain ou un four est un générateur de température qui, pour un étalonnage par comparaison, doit toujours être associé à un capteur étalon. On distingue le bain (dont le liquide, eau, glycol... dépend de la plage de température) et le four à puits sec. Dans ce dernier, on trouve un bloc métallique dans lequel sont percés des puits. Un puits est réservé au capteur étalon, les autres aux capteurs à étalonner. Il faut s'assurer du meilleur contact possible entre le capteur et l'insert

métallique. « On admet un jeu d'un dixième de millimètre, pas plus, souligne M. Huiban (AOIP). Généralement, le diamètre des puits se situe entre 35 et 60 mm, ce qui limite la taille et la forme du capteur ». Cette caractéristique peut être rédhibitoire pour les capteurs industriels qui sont associés à une tête électronique relativement volumineuse. Pour les bains, l'ouverture est plus large (150 mm ou plus de diamètre). Certains ont même des sections carrées.

Le choix entre bain et four se fait aussi en fonction de la gamme de température. Pour les hautes températures, le four monte bien plus haut, jusqu'à 1 200 °C. Usuellement, un bain se limite à 300 °C. Il peut toutefois monter au-delà, jusqu'à près de 600 °C, avec des bains de sel. Vers les basses températures, le four, généralement refroidi par des éléments Peltier, va péniblement jusqu'à -45 °C. Un bain descend plus facilement en température. Certains vont jusqu'à -80 °C, voire -100 °C.

Ensuite, on demande à un générateur une bonne stabilité, c'est-à-dire un maintien de la consigne en température. L'homogénéité

(qui garantit que la température est bien la même en tout point de l'espace) est également importante pour étalonner des capteurs de différentes longueurs. A qualité égale, l'homogénéité d'un bain est grosso modo 5 fois meilleure que celle d'un four, souligne M. Jouannaud (MB Electronique). Il reste cependant hasardeux de comparer les équipements en se référant aux fiches techniques des fournisseurs. Certaines donnent des valeurs en un point de température, d'autres en plusieurs points, d'autres encore ne précisent pas la température. Il faut savoir aussi que, pour les bains, stabilité et homogénéité dépendent de la nature du fluide.

Il n'y a pas non plus de bon générateur sans un bon régulateur. « Un bon régulateur monte rapidement en température puis ralentit juste avant la consigne pour éviter l'overshoot c'est-à-dire une surchauffe », explique M. Jouannaud (MB Electronique). La qualité d'un régulateur dépend de sa résolution et de son incertitude. Là encore, des caractéristiques qui ne sont pas toujours explicitées clairement par les constructeurs.

## 7- Etalonnage manuel ou automatisé ?

Les capteurs qui plongent dans le bain ou dans le four donnent un signal qui va être mesuré affiché au niveau de l'indicateur ou d'un thermomètre étalon (appelé aussi chaîne de référence). En toute rigueur, il faut un thermomètre pour la sonde étalon et un autre pour la sonde à étalonner. L'offre est assez large : des petits thermomètres portables à moins de 4000 euros jusqu'au thermomètre de paillasse à pont de résistance à 20000000 euros. Là encore, le choix de l'appareil dépend de l'incertitude globale souhaitée. Plus c'est précis, plus c'est cher. Dans la majorité des laboratoires industriels, l'instrumentiste attend que le générateur se soit stabilisé à la température fixée et relève manuellement sur le thermomètre la valeur affichée. Si l'étalonnage se fait sur plusieurs capteurs simultanément, il faut envisager une centrale d'acquisition pour recueillir l'ensemble des signaux en provenance de chaque capteur. Il existe des systèmes d'acquisition

## Un aperçu de l'offre

Fabricant ou distributeur (Marques)	Capteurs étalons	Bains ou fours	thermomètre étalon	Centrale d'acquisition*	Logiciel d'étalonnage*	Simulateur*	Laboratoire*	Téléphone	Fax
Ahlborn			•	•		•		01 30 47 22 00	01 30 47 28 29
AOIP (Isotech)	•		•	•	•	•	Cofrac	01 69 36 50 50	01 60 79 08 37
Bourdon Haenni (Beamex)		•	•			•	•	02 54 73 74 05	02 54 73 74 07
Brun Informatique					•			04 73 27 29 83	04 73 26 41 83
Eurotherm Automation Chessell				•				04 78 66 55 20	04 78 66 55 35
Delta Mu Conseil					•			04 73 15 13 00	04 73 15 13 09
Dimelco (Ametek, Delta Ohm, Unomat, Julabo, Dostmann, Tinsley, Tek know,...)	•	•	•	•	•	•	raccordé	03 20 62 06 80	03 20 96 95 62
EMT (Lauda Scandura, Lab Facility)		•	•		•	•		04 78 47 61 56	04 78 47 61 46
Eurotron Instruments	•	•	•	•	•	•	SIT (IT)	03 85 26 07 95	03 85 26 09 79
Felix Informatique					•			03 83 96 23 23	03 83 96 88 00
Fluke (Hart scientific)		•	•			•	Cofrac	01 44 8 17 37 37	01 48 17 37 30
GE Druck Unomat		•				•	SIT (IT)	01 41 32 34 64	01 47 93 00 48
GE Kaye	•	•	•	•	•		DKD (D)	01 39 30 29 79	01 39 30 29 78
GMC Instruments				•		•		01 69 20 89 49	01 69 20 54 92
Implex					•			04 72 18 09 90	04 72 18 09 99
Kelatron						•		04 90 63 07 16	04 90 60 16 74
Lem						•		01 69 18 17 50	01 69 28 24 29
MB Electronique (Hart Scientific, Fluke Yokogawa)	•	•	•	•	•	•	Namas (UK), NKO (NL),	01 39 67 67 67	01 39 56 53 44
Newport Omega		•		•	•	•	Raccordé	01 61 37 29 00	01 30 57 54 27
Pyro- Contrôle Chauvin Arnoux	•	•	•		•	•	Cofrac	04 72 14 15 40	04 72 14 15 41
Sika	•		•		•	•	DKD (D)	01 40 38 08 08	01 40 34 23 90
Testo			• + sonde				Cofrac, raccordé	03 87 29 29 00	03 87 87 29 18
Thermo-Est	•	•					Cofrac, sur site	03 87 80 68 18	03 87 51 72 04

\* Il s'agit de produits ou de prestations dédiés à la température.

Nous ne citons dans le tableau que les laboratoires des fournisseurs de produit. Il existe plus d'une centaine de dossiers d'accréditation Cofrac pour les mesures de température. Nous ne mentionnons pas, faute de place, les laboratoires indépendants. La liste complète des laboratoires accrédités par le Cofrac est disponible sur le site [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)



Le système d'acquisition d'Hart Scientific se compose d'un module pour la sonde de référence, des modules pour les sondes à résistance, d'autres pour les thermocouples. Chaque module a un système de mesure avec sa propre incertitude.

avec des voies de type universel. Il faut alors configurer les paramètres du capteur. D'autres systèmes proposent des voies dédiées à un type de sonde Pt100, thermocouples... Des voies sont même spécifiques selon la nature du thermocouple. Dans ce cas-là, avant d'investir, l'industriel doit donc connaître son parc de capteurs et anticiper de futurs besoins. Autant de voies que de capteurs qui sont étalonnés en même temps, plongés dans le même bain ou le même four. La centrale

d'acquisition peut être reliée au générateur de température et lui envoyer une valeur de consigne. Lorsque le générateur atteint cette température, le système d'acquisition en est immédiatement informé et lance la mesure au niveau de chaque capteur à étalonner. Il s'agit là d'une procédure semi-automatique. Mais on peut aller encore plus loin. La chaîne d'étalonnage se termine alors dans un PC doté d'un logiciel. Ce dernier commande la centrale d'acquisition, le thermomètre, le four. Il est la tête d'un système de pilotage automatique. Le logiciel donne la consigne de température au générateur, attend que celle-ci soit stabilisée. Il demande alors au thermomètre d'effectuer les mesures et aux systèmes d'acquisition de les enregistrer. Et ceci pour tous les points en température prévus par la procédure d'étalonnage. A la fin, le logiciel trace la courbe d'étalonnage. Connaissant les incertitudes de chacun des constituants de la chaîne, il calcule l'incertitude globale et édite un certificat. Plus encore, avec les spécifications imposées et les écarts maximaux tolérés, il peut établir un constat de vérification.

« C'est bien pour les capteurs de température que notre logiciel d'étalonnage a le plus de succès, souligne

Nicolas Delalande, attaché commercial chez Implex, parce qu'il s'agit du paramètre le plus mesuré dans l'industrie mais aussi parce que les moyens de laboratoire permettent d'étalonner plusieurs capteurs en même temps ». Ce qui n'est pas le cas pour les autres grandeurs physiques, comme la pression. De plus, un étalonnage d'un capteur en température prend du temps. Il faut attendre parfois plusieurs heures entre chaque palier. Quant au coût d'une solution automatisée, il faut compter, pour une configuration moyenne et avec des prix tout à fait indicatifs, un capteur étalon (environ 2000 euros), un bain (environ 5000 euros), un thermomètre étalon (environ 8000000 euros), une centrale d'acquisition (environ 5000 euros) et un logiciel d'étalonnage (environ 2000 euros), soit un total de 22000 euros. Jacques Favreau (LNE) voit dans ces solutions automatisées à la fois des éléments positifs et négatifs : « On évite les erreurs de retranscription. De plus, c'est toujours la même procédure qui est appliquée. Il y a donc une bonne régularité. En revanche, s'il y a une erreur, elle est systématique. Et on finit par ne plus savoir ce qu'on fait ». Une boîte noire à ne pas laisser dans les mains de n'importe qui.

Marie-Pierre Vivarat-Perrin