

## MESURES DE TEMPÉRATURE

# Du labo au process, deux techniques à l'épreuve des flammes

▼ GDF Suez travaille à comprendre au mieux tout ce qui se passe au cœur même d'un mélange de gaz qui brûle. Ne rien laisser aux mystères de la flamme. Du laboratoire, pour réaliser des cartographies thermiques de grande précision, jusqu'au four du verrier pour optimiser les combustions industrielles, GDF Suez a travaillé avec le fournisseur Pyro-Contrôle afin de développer deux solutions pour la mesure de température de flamme. La première utilise les thermocouples à fil fin, la seconde les cannes à aspiration. Sous licence GDF Suez, les deux techniques sont aujourd'hui proposées à tous.

Elles peuvent toutes les deux s'exposer directement aux hautes températures des flammes. Mélanges gazeux à 1 400, 1 700, voire 1 900 °C, constituent leurs environnements quotidiens. Thermocouples à fil fin ou cannes à aspiration sont deux technologies reconnues et éprouvées pour prendre la température

au cœur même d'une combustion.

Ceci étant, les deux technologies ne sont pas concurrentes. Il n'y a pas d'avantage ou d'inconvénient pour l'une ou l'autre. Elles répondent à des applications bien spécifiques. Les thermocouples à fil fin sont très fragiles et sont exclusivement réservés à des applications en laboratoire. On les retrouve dans les mesures ponctuelles pour la caractérisation de brûleurs semi-industriels. A l'inverse, les cannes à aspiration sont très

robustes et sont conçues pour être utilisées en ambiance "dure", principalement à des fins de caractérisation de la qualité de combustion. Elles existent en plusieurs modèles de taille différente mais schématiquement, il s'agit de "gros" brûleurs, typiquement sur des fours industriels type verrerie, ou sur des grosses chaudières, ou bien encore dans des cheminées avec des températures très élevées. Les deux méthodes ont, en point commun, l'utilisation, comme élément sensible, des thermocouples : capteurs sensibles, précis, éprouvés, très largement répandus. Il faut cependant savoir, surtout si l'on veut des mesures précises, que le thermocouple ne mesure que sa propre température. Ainsi, dans la plupart des cas, la température indiquée par un thermocouple plongé dans un gaz peut être assez différente de la température réelle du gaz. Plusieurs causes peuvent fausser cette prise de température : un mauvais échange de chaleur entre le gaz et la soudure chaude du thermocouple ; des pertes de chaleur par rayonnement entre la soudure chaude et le milieu environnant et également des pertes par conduction thermique le long des fils du thermocouple. L'écart entre température du thermocouple et température des flammes est d'autant plus grand que la flamme sera dite turbulente.

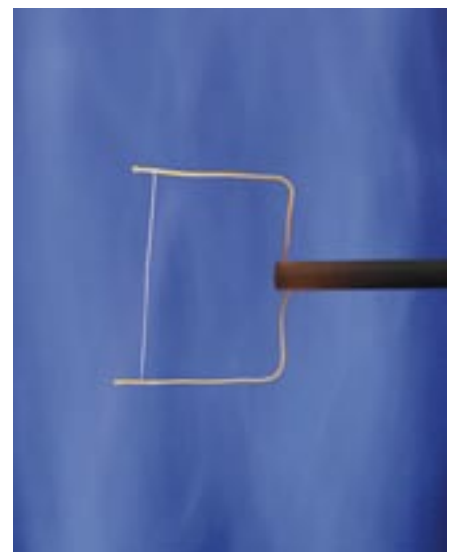
### Un filament de 50 à 80 µm

Ainsi, thermocouples à fil fin ou cannes à inspiration, d'une manière différente et dans des environnements différents, cherchent à minimiser au maximum l'écart entre température indiquée et température réelle.

Pour le thermocouple à fil fin, celui-ci met en œuvre des fils nus de très faibles diamètres au point chaud ; les filaments ont un diamètre de quelques dizaines de micromètres seulement. De ce fait, la mesure de la température de la flamme n'est "presque" pas perturbée. Cela réduit fortement les erreurs de mesure en diminuant les pertes par rayonnement et par conduction thermique. Les dimensions du point chaud confèrent au thermocouple à filament un temps de réponse extrêmement rapide (fréquence de l'ordre du kHz). Associée à des hautes fréquences d'acquisition du signal, cette solution assure l'analyse

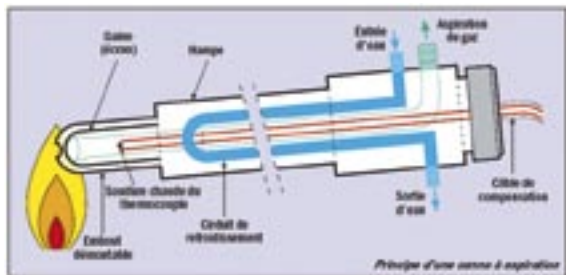
### L'essentiel

- ▶ Le thermocouple à filament est adapté pour les analyses de flammes de "petits" brûleurs, en particulier pour les cartographies de température de flamme.
- ▶ Le faible temps de réponse de ce thermocouple à filament est un atout pour identifier les fluctuations dans la flamme.
- ▶ Les cannes à aspiration sont orientées "industrie" à des fins de caractérisation de la qualité de combustion.
- ▶ Elles sont robustes et conviennent pour un usage intensif sur des cheminées jusqu'à 2 mètres de diamètre.



Les thermocouples à fil fin ont été spécialement conçus pour l'étude de la combustion et le suivi des fluctuations thermiques des flammes dites turbulentes.

## La canne à aspiration pour les combustions industrielles



L'objectif d'une canne à aspiration est d'une part, de privilégier l'échange thermique par convection entre le gaz et le thermocouple, et d'autre part, de diminuer les pertes dues au rayonnement de la soudure chaude. La flamme ou les fumées sont aspirées dans la canne à l'aide d'une pompe; l'orifice d'aspiration est situé à l'extrémité de l'embout.

Ce dernier est facilement démontable. Il est constitué par deux gaines concentriques qui enveloppent le thermocouple. Le coefficient d'efficacité est déterminé "in situ". Il permet d'obtenir la valeur réelle de la température du gaz prélevé par correction de l'influence de l'aspiration nominale choisie. Le corps du capteur, la "hampe", en inox, contient le circuit de refroidissement à eau et le circuit d'aspiration des gaz. La sortie mesure est réalisée par un câble de compensation.

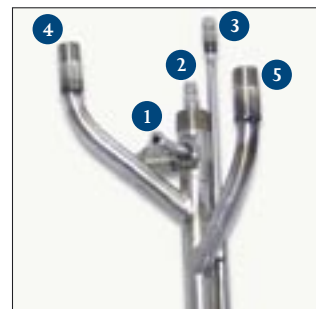
Dans la pratique, trois modèles de cannes à aspiration sont proposés, selon les dimensions du four ou de la cheminée et la température à contrôler.

- La canne modèle "miniature" pour utilisation en laboratoire; de dimensions réduites pour cheminées d'extraction de diamètre inférieur à 50 cm.

- La canne modèle "semi-industriel".

- La canne modèle "industriel" pour usage intensif et convenant à des cheminées de 1 à 2 m de diamètre. Suivant la température à contrôler, plusieurs types de thermocouples sont proposés: le type K jusqu'à 1 100 °C, les types S ou R jusqu'à 1 500 °C et le type B jusqu'à 1 600 °C. L'embout démontable est constitué de deux gaines en alumine ou en platine rhodié suivant le modèle. A noter, un embout en platine rhodié est à même de supporter des températures jusqu'à 1 900 °C pendant quinze minutes. Une seconde sortie mesure "température ambiante" est disponible en option. Pour les applications en laboratoire, les cannes miniatures sont livrées avec une table d'étalonnage spécifique du lot de fils pour établir la correspondance température/f.e.m., propre au thermocouple employé.

→



Détail des raccords d'une canne à aspiration - modèle industriel avec option température ambiante - longueur totale d'environ 2 m.

- 1 - Aspiration du gaz pour mesure de la température de flamme.
- 2 - Entrée thermocouple K ou S pour mesure de la température de flamme.
- 3 - Option : entrée thermocouple K ou S pour mesure de la température ambiante.
- 4 - Entrée eau du circuit de refroidissement.
- 5 - Sortie eau du circuit de refroidissement.

des fluctuations des flammes turbulentes. Les laboratoires scientifiques, mais aussi les industriels, utilisent ces thermocouples à filament pour optimiser le réglage de certains brûleurs et la mise au point de procédés de soudure spéciaux.

Au sein de GDF Suez, elle est fréquemment utilisée pour réaliser des cartographies au nez du brûleur. Les thermocouples à fil fin ont été spécialement conçus pour l'étude de la combustion et des températures de flammes des différents gaz. Un logiciel d'acquisition et de traitement a été développé. Toutes les informations ainsi enregistrées constituent une base de données expérimentales servant pour la modélisation numérique de la combustion.

### La canne robuste

La canne dite "à aspiration" cherche également à s'affranchir des influences parasites, pour donner la température la plus exacte possible d'un mélange gazeux. Pour cela, comme son nom l'indique, le principe est l'aspiration forcée par une pompe d'une partie des gaz chauds autour du thermocouple; cette aspiration augmente la vitesse des gaz sur la soudure chaude du thermocouple et favorise donc l'échange de chaleur par

convection. Par ailleurs, les pertes de chaleur par rayonnement de la soudure chaude sont diminuées par une ou plusieurs gaines placées à l'intérieur de l'embout de la canne. Le corps du capteur, en inox, contient le circuit de refroidissement à eau et le circuit d'aspiration des gaz. C'est par un orifice situé à l'extrémité de l'embout que se fait l'aspira-

tion des gaz nécessaires à la mesure. La sortie mesure est réalisée par un câble de compensation.

La plupart du temps, ce sont des contraintes en température qui imposent le type de thermocouple. Le système d'aspiration de la canne fait que la température au niveau du thermocouple est généralement plus →

## Thermocouples à fil fin : pour les petits brûleurs

Pour des mesures détaillées de température à haute fréquence d'acquisition (suivi temporel), GDF Suez a développé une technique utilisant des thermocouples à fil fin de type S, B ou Ir. Ce type de thermocouple met en œuvre des fils nus de très faibles diamètres au point chaud; les filaments ont un diamètre de quelques dizaines de microns seulement. De ce fait, la mesure de la température de la flamme est peu perturbée. Cela réduit les erreurs de mesure en diminuant les pertes par rayonnement et par conduction

thermique. Les dimensions du point chaud confèrent au thermocouple à filament un temps de réponse rapide (fréquence de l'ordre du kHz). La plage de température est comprise entre 400 °C et 2 000 °C.

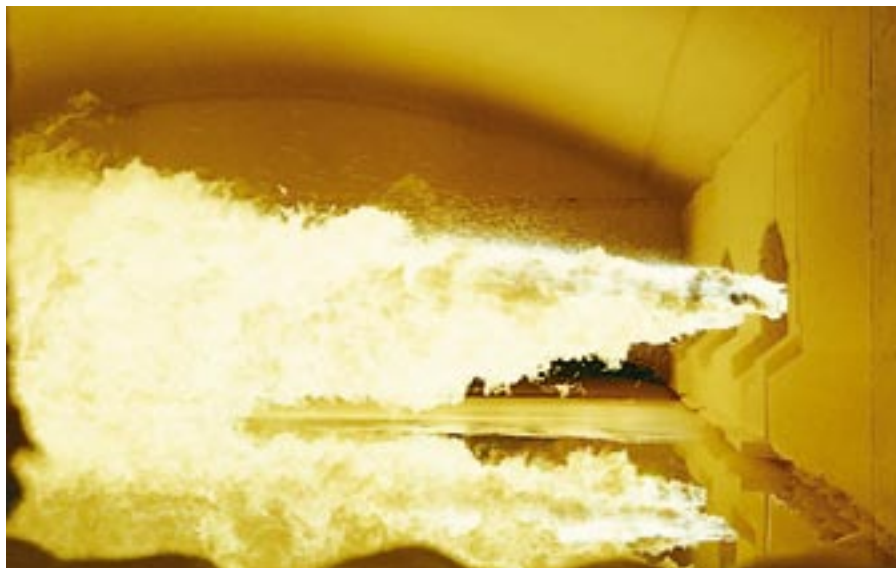
Trois natures de couple thermoélectrique sont proposées:

- Type S: Pt/Pt - 10 % Rh
- Type B: Pt - 6 % Rh/Pt - 30 % Rh
- Type Ir: Ir / Ir - 40 % Rh

Les deux broches supportant le thermocouple à fil fin sont fabriquées dans le même matériau.



GDF Suez réalise des mesures de températures par canne pyrométrique à aspiration, dans des fours d'essais similaires aux fours verriers industriels.



→ basse que celle qui "touche" directement le thermocouple à fil fin. Il est alors permis d'utiliser des thermocouples de type S, B voire K (alors que des types S, B, Ir s'imposent pour les thermocouples à filament du fait qu'ils subissent la température réelle). A l'aide d'un abaque, la température lue est

corrigée pour déterminer la température réelle. L'usage des cannes à aspiration nécessite au préalable la détermination expérimentale d'un coefficient d'efficacité propre à l'instrument et dépendant de la vitesse d'aspiration des gaz. La canne à aspiration est certainement moins précise qu'un ther-

mocouple à filament fin mais les applications sur les brûleurs industriels ne demandent pas une analyse aussi fine qu'en laboratoire. Cette technologie, certes relativement lourde à mettre en œuvre, se distingue par sa robustesse. Ses applications vont au-delà des mesures ponctuelles pour l'analyse ou le diagnostic. Elle a également un intérêt dans l'optimisation de la combustion à des fins d'efficacité énergétique ou de contrôle de l'environnement. Par exemple, les sociétés incinérant des déchets dangereux, pouvant engendrer de la dioxine, doivent justifier auprès des DRIRE que leurs déchets sont pyrolysés (décomposition totale des éléments chimiques). Pour cela, il faut contrôler la température des gaz au pied des cheminées, à la sortie du foyer. Les cannes de température à aspiration répondent à ce besoin. Autre avantage, l'échantillon ainsi aspiré peut être amené vers les instruments adéquats pour l'analyse chimique du mélange gazeux.

**Thierry VIGNERON,**  
directeur de Pyro-Contrôle  
et Stéphane MAUREL,  
responsable des laboratoires GDF Suez

## Abonnement