



## **FORMATION**

### **Thermique Industrielle**

CONTACT 3j-Consult : Ir. Jacques Michotte 0473-94.85.16  
[jmi@3j-consult.com](mailto:jmi@3j-consult.com)

## **1. CONTENU RESUME**

La formation s'articule autour de deux points de vues :

### **1.1. Les bases de la Thermique Industrielle :**

La formation donne une base solide sur les toutes notions que doit maîtriser et manipuler l'homme de terrain pour comprendre les phénomènes qui se produisent dans les équipements thermiques dont il assume la responsabilité :

- l'énergie et la chaleur;
- la température et sa mesure, y compris la pyrométrie optique;
- les modes de transferts de chaleur : la conduction; la convection naturelle et forcée; le rayonnement des gaz et des solides;
- la calorimétrie;
- les notions de mécanique des fluides;
- les combustibles, la combustion et ses réglages.

## **1.2. Thermique appliquée aux fours à gaz :**

En parallèle, les notions précédentes sont appliquées aux problématiques des fours de réchauffage et de traitements thermiques en sidérurgie. On complète également la formation par les notions relatives aux réfractaires, à la sécurité des installations au gaz naturel, aux brûleurs, à la métallurgie des aciers, etc. :

- brûleurs et flammes, atmosphère des fours à gaz;
- zones de chauffe, régulation de température;
- émissions de gaz : NOx et CO2;
- réchauffage et refroidissement des produits (avec simulations);
- notions de métallurgie des aciers (réchauffage, laminage, traitements thermiques);
- notions d'oxydation et de décarburation des aciers;
- tirage des cheminées, régulation de pression, entrée d'air parasite;
- bilan thermique et consommations;
- notions sur les réfractaires;
- sécurité des installations aux gaz naturel;
- conduite et pilotage des fours.

Nous donnons en annexe la table des matières de la formation.

## **2. PUBLIC CONCERNE**

Le volet de base s'adresse aux ingénieurs et techniciens d'exploitation ou de maintenance ainsi que de bureaux d'études qui souhaitent combler d'éventuelles lacunes dans leur formation en thermique industrielle ou simplement rafraîchir des notions qu'ils n'ont pas eu l'occasion d'entretenir.

La formation s'applique aux problèmes relatifs aux fours industriels au gaz en général et aux fours de réchauffage et de traitements thermiques de l'acier en particulier.

Dans tous les cas, nous adaptons le niveau d'approfondissement des matières et des exercices en fonction des qualifications et des souhaits des participants. Certains aspects théoriques seront plus développés avec un groupe fort qualifié alors que des faits d'expériences sont mis plus en avant avec un groupe plus "praticien".

### **3. APPROCHE DIDACTIQUE**

Les journées sont partagées entre théorie et pratique. Dans la mesure où la matière s'y prête, la matinée est consacrée à l'exposé de celle-ci tandis que des exercices de réflexion ou de calculs sont proposés l'après-midi de manière à permettre à chacun de mieux intégrer les informations.

Toutes les notions sont introduites au moyen d'exemples concrets de l'industrie de manière à donner une vision immédiate de l'utilité de celles-ci. Les aspects strictement théoriques sont limités à ceux qui sont indispensables à la compréhension du sujet.

Par exemple, la chimie de la combustion est présentée au moyen de l'exemple du méthane pur. On retrouve ainsi très rapidement des paramètres clefs tels que le rapport air / gaz théorique (stoechiométrique) et le pouvoir fumigène du méthane et donc du gaz naturel qui lui est très proche. On introduit ensuite la notion d'excès d'air toujours dans le cas du méthane pur. Une telle approche permet d'introduire toutes les notions et les raisonnements qui interviennent dans le cadre des questions relatives à la combustion et à son réglage sans faire appel à de longs et fastidieux développements théoriques. L'élève perçoit rapidement les tenants et aboutissants de la question. La transposition est ensuite faite vers les cas plus complexes de la réalité.

Des simulations, principalement au moyen de classeurs Excel sont également proposées pour visualiser l'incidence de l'un ou l'autre paramètre.

### **4. SUPPORTS DIDACTIQUES**

Les participants reçoivent, au début de la formation, un manuel de thermique industrielle disponible dans le commerce et dont le prix d'achat est inclus dans le droit d'inscription.

Ils reçoivent également au fur et à mesure de l'avancement les notes et les exercices du cours en format papier à insérer dans un classeur personnel. Ils sont incités à y ajouter leurs notes personnelles.

A la fin de la formation, ils reçoivent également un **livre électronique** sous forme de **site intranet** sur CD-Rom. Ce livre est navigable au moyen d'Internet Explorer et comporte un outil de recherche par mots-clefs ou texte intégral ("*full texte*") ainsi qu'un glossaire. Il reprend l'ensemble du cours et des exercices adaptés au groupe concerné.



Ce livre électronique est développé et mis à jour à l'aide de notre outil de capitalisation des connaissances "City4KM".

Cet outil et la méthodologie qui l'accompagne sont proposés en option pour permettre au participant de capitaliser leur know-how en poursuivant par eux-mêmes le développement du livre électronique en question. Les connaissances d'un groupe de travail sont alors capitalisées, mises à jour et partagées via un site intranet qui constitue un véritable Guide d'Emploi et de Maintenance ("GEM") de votre usine.

## **5. FORMATEURS**

La formation est donnée principalement par Jacques Michotte, ingénieur civil, spécialisé en thermique industrielle depuis plus de 30 ans. Celui-ci possède une large expérience en consultance, expertises, formations, audits énergétiques, mesures sur site, informatique industrielle de pilotage, ingénierie de base, conception générale et optimisation d'équipements thermiques industriels.

Il est assisté par Jean-Benoît Verbeke, ingénieur civil, qui a déjà acquis de solides connaissances en thermique industrielle dans le cadre d'audits énergétiques, de mesures sur site (technique de la sonde embarquée) ainsi que lors d'études et réalisations de projets de biométhanisation et de cogénération.

Nous faisons également appel à des experts extérieurs pour des thèmes plus spécifiques tels que la sécurité des installations au gaz.

## **6. VOLUME, DUREE ET LIEU**

La formation, hors sécurité gaz, est dispensée sur 8 jours.

Une 9<sup>ième</sup> journée optionnelle est consacrée à la sécurité des fours à gaz.

La formation est donnée à raison d'un jour fixe par semaine sur 8 (ou 9) semaines consécutives (hors congés éventuels) au siège de 3j-Consult à Tourinnes-St-Lambert (entre Wavre et Gembloux).

La possibilité de ne s'inscrire qu'aux journées consacrées à l'un ou l'autre thème particulier peut aussi être offerte. Dans ce cas, veuillez adresser un mail à [jmi@3j-consult.com](mailto:jmi@3j-consult.com) en y précisant les têtes de chapitres souhaitées. Nous vous ferons une proposition "à la carte".

Chaque journée de 8 heures comporte 7 heures en salle avec une pause d'une heure pour prendre le repas sur place. Le prix du repas est inclus dans le droit d'inscription.

## THERMIQUE DES FOURS A GAZ

### 1 Chaleur, Energie et Température (rappels)

- 11 Qu'est-ce que la chaleur ?
- 12 L'équivalence chaleur - travail mécanique
- 13 L'échelle internationale de température
- 14 Chaleur spécifique et enthalpie

### 2 Mesure de la Température

- 21 Thermistances, Pt100, etc.
- 22 Thermocouples
- 23 Pyromètres optiques
- 24 Câbles, transmetteurs, appareils de mesures

### 3 Combustibles et Combustion

- 31 La combustion : c'est quoi ?
- 32 Pouvoirs calorifiques inférieur et supérieur, indice de Wobbe
- 33 Température adiabatique de combustion
- 34 Combustibles gazeux et gaz naturels
- 35 Stœchiométrie, défauts et excès d'air, combustion incomplète
- 36 Température d'inflammation, limites d'inflammabilité
- 37 Détonation, déflagration, vitesse de déflagration
- 38 Sécurité d'allumage, point d'ignition

### 4 Gaz de combustion (fumées)

- 41 Gaz de combustion (Composition et Enthalpie)
- 42 Combustion et environnement (Emissions de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub>)

### 5 Rendement de combustion

- 51 Les notions de "perte à la cheminée" et de chaleur utile
- 52 Pouvoir calorifique inférieur ou supérieur ?
- 53 Incidence de la température des fumées (batch ou continu)
- 54 Incidence du préchauffage de l'air (récupération)
- 55 Incidence de la sur oxygénation

### 6 Transfert de chaleur (gaz, parois, produits)

- 61 Transférer la chaleur, c'est quoi ?
- 62 La convection naturelle et forcée
- 63 Le rayonnement thermique (notions)

Facteurs de forme et échange par rayonnement entre solides

Le rayonnement des gaz et des flammes

64 La conduction : notion de produits "minces" et "épais"

Conductivité et chaleur massique des aciers

## 7 Thermique et aéraulique (notions)

71 Notions de mécanique des fluides (Archimède et Bernoulli)

72 Jets libre et confiné, recirculation

73 Convection naturelle (point de vue aéraulique)

74 Tirage, pression et cheminée

## 8 Systèmes de chauffe

81 Les Brûleurs

Fonctions des brûleurs (brûler et brasser)

Stabilité des flammes

Adaptation à la chambre de combustion (effet de jet, recirculation)

Types de brûleurs et évolution

Interchangeabilité du gaz combustible

82 Réglage de la combustion - aspects pratiques

Variations du PCI du gaz naturel (Wobbemètre, Comburimètre, etc.)

Variations de régime

Formation de carbone-suie

Aspect et couleur des flammes (émissions des flammes)

83 Allumage et surveillance de flamme

Brûleurs d'allumage, brûleurs pilotes

Surveillance de flamme (optique, ionisation)

84 Homogénéité de chauffe aux différentes températures

Hautes températures (rayonnement)

Moyennes températures (rayonnement et convection)

Basses températures (convection)

85 Zones de chauffe et régulation de la température

Différents schémas de mise en parallèle (zones, demi-zones)

Mesures des débits d'air et de gaz (diaphragmes et venturis)

Vannes de réglage des débits

Régulation tout ou rien globale

Régulation modulante  
 Régulation par impulsions  
 Injecteurs d'air de brassage

## **9 L'Action des Gaz de combustion sur les Aciers**

91 Oxydation et formation de la calamine

Aciers au carbone

Aciers "inoxydables"

Incidence de l'atmosphère du four

92 Décarburation (pour mémoire)

## **10 Le Circuit des fumées (aspects pratiques)**

101 Circulation dans la chambre, pressions

102 La cheminée

103 Pourquoi et comment maintient-on une pression dans le four?

Mesure de pression

Incidence de l'étanchéité sur la tenue en pression

Clapet de cheminée ou registre

Coupe tirage

Régulation de pression

## **11 La Récupération de Chaleur**

111 Principes et limites

Le préchauffage des produits

Le préchauffage de l'air

112 Les différents systèmes de préchauffage de l'air

Récupérateurs centralisés

Brûleurs auto-récupérateurs

Brûleurs régénératifs

113 La sécurité du récupérateur centralisé

114 Incidence de la récupération sur la régulation

## **12 Le Bilan thermique et Consommations**

121 L'apport d'énergie des brûleurs

122 L'énergie apportée et emportée par les produits

123 Pertes à la cheminée (rappel)

124 Les pertes par conduction au travers des parois

125	Les pertes par refroidissement du système de transport
126	Le rôle de la récupération (préchauffage de l'air)
127	Les pertes de fumées
128	Les entrées d'air parasite
129	Les consommations de gaz
	Lors des rallumages
	Lors des veilleuses
	A différents régimes d'exploitation
	Globalement + relation rendement / consommation spécifique

### **13 La marche réelle des fours**

131	Le trio : qualité/économie/productivité
132	Chauffe et maintien
133	Les t° d'indexations des différentes zones
134	La consigne de pression
135	Les consignes d'excès d'air
136	Les cadences recommandées

### **14 La sécurité des fours à gaz**

141	Notion de sécurités liées au gaz naturel
142	La norme EN 746.2
	Panoplie gaz
	Allumage et Surveillance de flamme