

INTRODUCTION

L'étude de la combustion peut être abordée différemment suivant le but poursuivi.

Le chimiste s'intéresse plus particulièrement à la cinétique de la combustion (vitesse de réaction, réactions de départ, réactions de rupture, etc.) qui intervient dans la conception des brûleurs ou le dimensionnement d'une chambre de combustion.

L'ingénieur ou le technicien en économies d'énergie a d'autres préoccupations. Pour lui, le matériel existe et il s'agit de le faire fonctionner dans les meilleures conditions.

Trop souvent la combustion est réglée d'une manière plus ou moins empirique alors que l'utilisation d'un simple diagramme d'Ostwald permettrait, à partir de l'analyse des fumées, de déterminer, sur le site, l'excès d'air et d'optimiser celui-ci. Sa facilité d'emploi donne également la possibilité, à l'exploitant d'une chaufferie, de vérifier rapidement les résultats d'une expertise. Un inconvénient toutefois, ce diagramme est spécifique à un combustible.

Aussi, nous avons tracé à l'ordinateur un ensemble de 23 diagrammes applicables aux combustibles solides, liquides, gazeux utilisés en France. Dans leur conception nous avons tenu compte de l'équilibre chimique CO, CO₂, H₂, H₂O dans le cas des combustibles hydrogénés. Actuellement, le rendement de combustion est obtenu à partir de la formule approchée de Siegert dont l'application est restreinte aux combustions oxydantes : celles que l'on réalise après réglage. Or le client souhaite comparer les rendements avant et après réglage de son foyer pour apprécier les économies réalisées.

Nous proposons l'utilisation conjuguée du diagramme d'Ostwald et des tableaux des caractéristiques stœchiométriques des combustibles afin d'obtenir ces rendements avec précision. Quant au rendement global annuel d'exploitation, il est couramment calculé par la formule de Dittrich applicable uniquement aux installations fonctionnant par tout ou rien. Dans ces conditions, comment apprécier l'économie réalisée par d'autres conditions d'exploitations : température du primaire variant avec la saison, fonctionnement par tout ou peu, chaudières à condensation ou à très basse température ?

Chacun de ces cas a été analysé et des expressions du rendement global annuel d'exploitation ont été établies. A partir de celles-ci il est possible de traiter les problèmes suivants :

- contrôle du diagnostic énergétique d'un bâtiment existant à partir de la connaissance de la consommation annuelle et du Pci du combustible brûlé ;
 - détermination de l'économie réalisée par la modification d'un système de chauffage ;
 - pour une chaufferie en projet, comparaison des différentes solutions (chauffage au gaz, au fioul, au charbon bi-énergie) afin de retenir celle qui conduit à la consommation énergétique minimale.
- Dans le dernier chapitre de cet ouvrage, nous donnerons un exemple de gestion informatisée d'une chaufferie.

De nombreux exemples d'application sont donnés et les résultats numériques sont exprimés avec les unités utilisées dans la profession.

a) Energie calorifique

- joule, kJ (1000 joules), kWh (3600 x 10³ joules), kcal (4185 joules).

Exemple : pouvoir calorifique supérieur d'un fioul lourd n°2 :

$$P_{cs} = 42\,896 \times 10^3 \text{ joules/kg} = 42\,896 \text{ kJ/kg} = 11,915 \text{ kWh} = 10\,250 \text{ kcal/kg}$$

b) Puissance calorifique

- joule/sec ou watt, kW (1000 watts), kcal/heure (0,86022 watt).

Exemple : puissance calorifique d'une chaudière :

$$P = 110\,430 \text{ watts} = 110,43 \text{ kW} = 95\,000 \text{ kcal/h.}$$

SOMMAIRE

Introduction	5
Chapitre 1 : Rappels des lois générales de la combustion en vue de son contrôle ..	7
1) Combustions réalisées dans les fours et les chaudières	7
2) Equilibre CO et H ₂ dans les fumées	8
3) Température pratique de combustion ou température d'équilibre au foyer ..	9
4) Equations de la combustion pour les fumées non hydrogénées	9
5) Equations de la combustion pour les fumées hydrogénées	9
6) Equations de la combustion dans le cas particulier des combustibles solides	10
7) Rendement de combustion	11
8) Détermination du rendement de combustion par application des relations de Siegert	11
Chapitre 2 : Principe et utilisation des diagrammes d'Ostwald pour fumées hydrogénées ou non	13
1) Diagramme d'Ostwald informatisé pour fumées non hydrogénées	13
2) Diagramme d'Ostwald informatisé pour fumées hydrogénées	14
Chapitre 3 : Diagrammes d'Ostwald appliqués au contrôle et à la détermination du rendement de combustion	21
1) Mode opératoire	21
2) Diagrammes d'Ostwald appliqués aux combustibles solides. Détermination du rendement de combustion	22
3) Diagrammes d'Ostwald appliqués aux combustibles liquides. Détermination du rendement de combustion	29
4) Diagrammes d'Ostwald appliqués aux combustibles gazeux. Détermination du rendement de combustion	34
Chapitre 4 : Rendement utile des chaudières	47
Chapitre 5 : Rendement global annuel d'exploitation des chaudières	49
1) Rendement global annuel d'exploitation déterminé à partir de la consommation annuelle de combustible	49
2) Rendement global annuel d'exploitation déterminé à partir des besoins énergétiques	51

Chapitre 6 : Exemples de gestion énergétique dans le tertiaire	53
1) Le diagnostic thermique et l'amélioration du rendement de combustion	53
- application à un immeuble collectif,	
- application à un immeuble collectif après amélioration du rendement de combustion de la chaudière.	
2) Modification des conditions d'exploitation en vue d'une meilleure gestion énergétique	55
Chapitre 7 : Gestion énergétique informatisée	57
Applications :	
Exemple 1 : chaudière domestique brûlant de l'anthracite,	
Exemple 2 : chaudière industrielle alimentée au fioul lourd n°2,	
Exemple 3 : chaudière brûlant du gaz naturel de Groningue,	
Exemple 4 : chaudière alimentée au fioul domestique.	
Annexe 1 : Prélèvement et analyse des fumées - Pyrométrie de contact	61
Annexe 2 : Complément sur les chaudières fonctionnant au fioul	67
Annexe 3 : Salinité en chaudières et calcul des extractions	71
Bibliographie	72
Normes	72