

CHAPITRE PREMIER

PRODUCTION DE LA CHALEUR

1^o Combustion

La combustion est une combinaison chimique rapide de l'oxygène et d'un corps capable de se combiner avec lui; cette réaction s'accompagne d'un dégagement de chaleur.

L'oxygène qui porte le nom de comburant est fourni par l'air atmosphérique. Le carburant ou combustible utilisé généralement dans les locomotives est la houille; on emploie toutefois de plus en plus le mazout (provenant de la distillation des pétroles bruts).

Pour que la réaction s'opère complètement, il faut deux conditions principales :

a) Que la température du foyer soit suffisante pour que l'allumage du combustible puisse se faire spontanément (un abaissement important de la température du foyer nuit à la combustion).

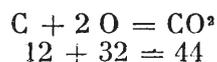
b) Qu'il y ait un contact intime entre le combustible et le comburant; le combustible doit être suffisamment divisé et les particules combustibles doivent être entourées d'air.

Si la couche de charbon est trop épaisse et si la grille est obstruée par des escarbilles ou du mâchefer, l'air arrive en quantité insuffisante et la combustion du carbone est incomplète. En effet, un kilo de charbon combiné avec 1 kg. 33 d'oxygène ne donne que de l'oxyde de carbone (Co) et dégage 2.450 calories, alors que la combustion complète qui donne de l'acide carbonique (CO²) se fait avec deux fois plus d'oxygène et dégage 8.080 calories, soit plus de trois fois plus.

2^o Poids et volume d'air nécessaire à la combustion

Le charbon contient d'autres corps que le charbon, en particulier des carbures d'hydrogène, du soufre, de l'oxygène. Il faut, au préalable, définir la composition du combustible, puis calculer le poids d'air nécessaire à la combustion du carbone et de l'hydrogène, seuls éléments utiles. On considère que l'oxygène du combustible est combiné avec une partie de l'hydrogène de ce même combustible.

a) Carbone : l'équation de la combustion du carbone :



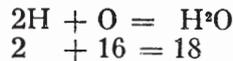
nous apprend que 12 kg. de carbone se combinent à 32 kg. d'oxygène pour fournir 44 kg. de CO².

Par suite, 1 kg. de carbone demande : $\frac{32}{12} = 2 \text{ kg. } 67$ d'oxygène.

Or, dans 100 kg. d'air, il y a 23 kg. d'oxygène; le poids d'air nécessaire pour brûler 1 kg. de carbone est donc de :

$$\frac{2,67 \times 100}{23} = 11 \text{ kg. } 6$$

b) Hydrogène : la combustion de l'hydrogène donne de la vapeur d'eau et l'équation de la combustion :



nous indique qu'il faut 8 kg. d'oxygène pour brûler 1 kg. d'hydrogène et, par suite, il faut $\frac{8 \times 100}{23} = 34 \text{ kg. } 8$ d'air pour brûler 1 kg. d'hydrogène.

c) Combustible quelconque : les locomotives françaises utilisent généralement :

- des houilles grasses contenant 20 à 35 % de matières volatiles,
 - des houilles $\frac{1}{2}$ grasses contenant 15 à 20 % de matières volatiles,
 - des houilles maigres contenant 10 à 15 % de matières volatiles,
- (utilisées seulement après mélange avec des houilles grasses). Leur composition chimique est approximativement la suivante :

C	H	O + Az	H ² O	Cendres
% 75 à 80	4 à 6	6 à 8	1 à 3	3 à 9

Prenons pour exemple une houille ayant la composition centésimale suivante :

Carbone	86,4		Azote	1,2
Hydrogène	4,2		Cendres	4,2
Oxygène	4			

la combustion du carbone nécessite : $0,864 \times 11 \text{ kg. } 6 = 10 \text{ kg.}$ d'air, celle de l'hydrogène $0,042 \times 8 = 0 \text{ kg. } 336$ d'O, mais parmi ces 0 kg. 336 d'oxygène, il y a déjà 0 kg. 040 qui sont dans le combustible; il ne faut donc prendre à l'air que 0 kg. 296 d'oxygène et le poids

d'air nécessaire est donc $0,296 \times \frac{100}{23} = 1 \text{ kg. } 3$.

Le poids total d'air à fournir est donc : $10 + 1,3 = 11 \text{ kg. } 3$ et le volume, en prenant pour poids de l'unité 1 kg. 30 est de :

$$\frac{11,3}{1,3} = 8,70 \text{ m}^3$$

En pratique, il faut 50 % d'air en plus pour assurer la combustion complète, soit : 11 à 12 m³ parce que le mélange des gaz n'est pas assez intime.

3° Pouvoir calorifique d'un combustible :

C'est la quantité de chaleur exprimée en grandes calories que peut développer la combustion complète de 1 kg. de ce combustible. Elle se détermine expérimentalement au moyen de la bombe calorimétrique de Mahler qui consiste en un obus en acier plongé dans un calorimètre à eau et dans lequel on fait brûler instantanément 1 kg. de combustible à l'aide d'oxygène pur introduit sous 25 kg. de pression, l'inflammation étant produite par une étincelle.

Le tableau ci-dessous indique pour les principaux combustibles le pouvoir calorifique, le volume d'air théoriquement nécessaire à la combustion et le volume des fumées :

COMBUSTIBLES	POUVOIRS calorifiques	VOLUME D'AIR nécessaire	VOLUMES des fumées
	calories	m ³ /kg	m ³ /kg
Houilles grasses	7.700 à 8.400	6,7 à 8,9	7,1 à 9,7
Houilles 1/2 grasses	7.600 à 8.600	6,7 à 8,9	—
Anthracites	7.400 à 8.400	6,7 à 8,9	—
Coke sec lavé	7.500	6,7 à 8,9	—
Coke sec à 15 % cendres.	6.800	6,7 à 8,9	—
Schiste	4.500	4 à 5	6 à 6,5
Lignite	4.800 à 6.300	5 à 5,5	5,6 à 6,1
Tourbe	5.000 à 5.500	5 à 5,5	5,5 à 6
Chêne sec (7 % eau)	4.500	4 à 5	4,5 à 5,5
Sapin sec (7 % eau)	4.300	4 à 5	4,5 à 5,5
Bois frais (30 % eau).....	2.500	3 à 4	4 à 4,5
Mazout ou fuel oil	10.500	11,3 à 11,6	12,1 à 12,4

Il est à remarquer que le poids d'air théoriquement nécessaire par kg. de combustible utilisé varie proportionnellement au pc du combustible (quelles que soient les proportions de C et H). Cette loi est vérifiée expérimentalement.

4° Température des gaz de la combustion

Soient :

pc, pouvoir calorifique d'un combustible donné,

P, le poids d'air nécessaire à la combustion de 1 kg. de combustible,

C, la chaleur spécifique moyenne des gaz sous pression constante (C = 0,25),

(la chaleur spécifique d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de poids de ce corps pour élever d'un degré centigrade sa température),

t, l'élévation de température cherchée à partir de la température atmosphérique.

Si toute la chaleur produite par la combustion était absorbée par les gaz sans aucune perte, on pourrait écrire l'égalité suivante qui exprime que la chaleur produite par la combustion d'un kg. de combustible se retrouve dans les gaz produits par cette combustion :

$$(P + 1) Ct = pc$$

d'où
$$t = \frac{pc}{(P + 1) C} = \frac{8.080}{12,3 \times 0,25} = 2.600^{\circ}$$

Ce résultat est beaucoup plus élevé que celui que donne la réalité, parce qu'on ne tient pas compte de la perte de chaleur par rayonnement et de l'excès d'air. La température du foyer est d'environ 1.500° tandis que celle des parois ne dépasse pas 250°. Les relevés sont d'ailleurs très difficiles à faire.

5° Pouvoir vaporisateur d'un combustible

C'est le poids d'eau que peut vaporiser 1 kg. de ce combustible.

Si le pouvoir calorifique est une valeur propre du combustible le pouvoir vaporisateur dépend non seulement du combustible, mais aussi du rendement thermique de la chaudière :

Soient :

pc pouvoir calorifique du combustible,

rt rendement thermique de la chaudière.

λ la chaleur totale de vaporisation de l'eau, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kg. d'eau pour l'amener de l'état liquide à la température de 0° à l'état de vapeur saturée à une certaine température T,
T la température de la vaporisation,
t la température de l'eau d'alimentation,
x le pouvoir vaporisateur.

Ecrivons que la chaleur utilisée du combustible est égale à celle prise par l'eau vaporisée.

Il vient :

$$pc \times rt = x (\lambda - t) \text{ avec } \lambda = 606,5 + 0,305 T$$

A remarquer qu'aux pressions usuelles (14 à 20 hpz) la valeur de λ est sensiblement constante et égale en moyenne à 668 calories :

$$x = rt \frac{pc}{\lambda - t}$$

Pour $pc = 8400$, une température de l'eau d'alimentation $t = 15^\circ$ et un rendement thermique rt de la chaudière variant entre 0,5 et 0,75 on trouve que le pouvoir vaporisateur varie entre 6,3 kg. et 9,5 kg. Il est de 7 kg. environ pour une locomotive moderne, de 7 à 9 kg. dans la zone d'utilisation courante et de 5 à 7 kg. pour des allures de combustion exceptionnellement poussées (1).

6° Rendement thermique de la chaudière

Le rendement thermique de la chaudière rt est le rapport de la quantité de chaleur absorbée (Q_a) par la vapeur à la quantité de chaleur (Q_c) contenue dans le combustible :

$$rt = \frac{Q_a}{Q_c}$$

Exemple : quelle est la valeur de rt pour une chaudière timbrée à 16 hpz, qui produit 16.000 kg. par heure de vapeur en brûlant 2.000 kg. par heure de charbon dont le pc est de 8.160 cal. eau du tender à 15°.

Poids de vapeur produit par kg. de combustible utilisé :

$$\frac{16.000}{2.000} = 8 \text{ kg.}$$

Quantité de chaleur absorbée par 8 kg. de vapeur :

$$(668 - 15) 8 = 5224 \text{ calories (voir formule § suivant).}$$

Rendement thermique global :

$$rt = \frac{5224}{8160} = 0,64 = 64 \%$$

Le rendement thermique de la chaudière dépend :

A) Du rendement de la combustion rc . Ce dernier est lié à de nombreux facteurs : disposition du foyer, intensité et répartition du tirage, nature du combustible, habileté du chauffeur, etc.

L'expérience montre qu'il décroît proportionnellement à l'accroissement du taux de combustion (*fig. 1 bis*). Cette baisse est provoquée par l'accroissement :

a) Des pertes par imbrûlés contenus dans les escarbilles entraînées à la boîte à fumée (le poids de ces escarbilles augmente en effet avec la puissance du tirage).

b) Des pertes par chaleur latente contenue dans les fumées. Ces pertes sont dues à la combustion incomplète du carbone et des hydrocarbures provenant de la distillation du charbon.

(1) Voir note de M. Dugas (numéro janvier 1934 de la Revue Générale des Chemins de fer) sur les méthodes d'analyse et d'essais permettant de déterminer la valeur d'usage d'un combustible. Voir aussi note (numéro avril 1934) sur une nouvelle méthode permettant d'étudier les mélanges les plus convenables et les plus économiques.