

LA COMBUSTION THERMIQUE

Calcul des rejets dans l'atmosphère

EXEMPLE DE COMBUSTION DU CHARBON :

1) Caractéristiques chimiques et thermiques du charbon :

- l'analyse élémentaire sur produit sec donne :

Carbone C en % : 77	P.C.S. : 7150 Kcal/Kg = 7,15 th/Kg
Hydrogène H en % : 4	P.C.I. : 6900 Kcal/Kg (sur sec) = 6,9 th/Kg
Oxygène O en % : 7	
Soufre S en % : 1	Cendre (imbrulés) en % : 10
Azote N en % : 0,75	
Chlore Cl en % : 0,25	
Fluor F en mg / Kg 230 mg / Kg	

- caractéristique des cendres de charbon : l'analyse laboratoire donne :

TYPE DE CENDRES	Soufre S %	Chlore CL %	Perte au feu %	Fluor F en mg/Kg
Cendres Volantes (coté fumées sortie chaudière) = 85 %	0,04	0,03	0,8	170
Cendres de Foyer (recueillis dans le cendrier) = 15 %	0,01	0,04	0	35

- Soufre, Chlore et Fluor combustible dans 1 Kg de charbon consommé :

pois de cendres volantes rejetés : $(100 \times 0,85)/(1-0,008) = 85,7$ g pour 1 Kg de charbon

pois de cendres de foyer récupérées au cendrier : $100 \times 0,15 = 15$ g pour 1 Kg de charbon

teneur en S combustible présent dans 1 Kg de charbon :

$$10 - \{(85,7 \times 0,04)/100 + (15 \times 0,01)/100\} = 9,96 \text{ g / Kg de charbon}$$

d'où S combustible en % du S total : $(9,96 \times 100)/10 = 99,6 \%$

teneur en Cl combustible présent dans 1 Kg de charbon :

$$2,5 - \{(85,7 \times 0,03)/100 + (15 \times 0,04)/100\} = 2,47 \text{ g / Kg de charbon}$$

d'où Cl combustible en % du Cl total : $(2,47 \times 100)/2,5 = 98,7 \%$

teneur en F combustible présent dans 1 Kg de charbon :

$$230 - \{(85,7 \times 170)/1000 + (15 \times 35)/1000\} = 215 \text{ mg / Kg de charbon}$$

d'où F combustible en % du F total : $(2,14 \times 100)/230 = 93,4 \%$

2) Combustion du charbon:

2-1) - Calcul de la composition et du volume des fumées résultant de la combustion de 1 Kg de charbon :

	Volume en litres	O2 nécessaire à la combustion
–		
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$(770 \times 22,26)/12 = 1428$ l de CO_2	$(770 \times 22,39)/12 = 1437$ l d' O_2
$2H + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$	$(40 \times 22,4)/2 = 448$ l d' H_2O	$(40 \times 11,2)/2 = 224$ l d' O_2
$S \text{ combustible} + O_2 \rightarrow SO_2$	$(10 \times 21,89)/32 = 6,8$ l de SO_2	$(10 \times 22,39)/32 = 7$ l d' O_2
$Cl \text{ combustible} + H \rightarrow ClH$	$(2,5 \times 22,24)/35,5 = 1,6$ l de HCl	–
$N \rightarrow N_2$	$(7,5 \times 22,4)/28 = 6$ l de N_2	–
D'où volume des fumées incondensables en litres	1442,4 litres	–

- O_2 présent dans le charbon : $(70 \times 22,39)/32 = 49$ litres
- O_2 nécessaire à la combustion : $1437 + 224 + 7 - 49 = 1619$ litres
- Volume d'air correspondant à cette consommation d'oxygène :
 $1619/0,2099 = 7713$ litres
- Azote N_2 dans l'air de combustion : $7713 - 1619 = 6094$ litres
- Azote N_2 Total dans les fumées : $6094 + 6 = 6100$ litres

Volume et composition des fumées neutres :

CO2	1428 litres	18,9 %
N2	6100 litres	80,99 %
SO2	6,8 litres	0,0923 %
HCl	1,6 litres	0,0212 %
TOTAL	7536,4 litres	100 %

2-2) - SO₂, CL et F rejetés en masse par thermie th produite ou KWh thermique produit :
(sachant que 1 KWh = 0,86 thermie)

$$\text{SO}_2 = (9,96 \times 64) / (6,900 \text{pci} \times 32) = 2,89 \text{ g / th} = 2,48 \text{ g/KWh pour 1 Kg de charbon brûlé (9,96 provenant du S combustible)}$$

$$\text{Cl} = (2,47 / 6,900) = 0,36 \text{ g / th} = 0,31 \text{ g/KWh pour 1 Kg de charbon brûlé}$$

$$\text{F} = 215 / 6,900 = 31,16 \text{ mg / th} = 26,8 \text{ mg/KWh pour 1 Kg de charbon brûlé}$$

2-3) - Volume des fumées réelles résultant de la combustion de 1 Kg de charbon :

On réalité on mesure un CO₂ dans les fumées de l'ordre de 13 % à comparer au 18,9 % calculé précédemment ; ceci veut dire que l'on fonctionne avec un excès d'air ; d'où le volume réel de fumées :

$$(7536,4 \times 18,9) / 13 = 10956 \text{ litres}$$

- l'air excédentaire dans les fumées étant de : $10956 - 7536,4 = 3419,6$ litres
exprimé en % : $(3419,6 \times 100) / (7526,4 + 3419,6) = 31 \%$

- volume d'air excédentaire y ajouté à 100 litres de fumées neutres :
 $(18,9 \times 100) / (100 + y) = 13$
d'où : $y = 45,4$ litres (équivalent à un excès d'air de 31 %)

2-4) - SO₂, CL et F rejetés à la sortie de la cheminée en volume Nm³ :

$$\text{SO}_2 = 923 / 1,454 = 635 \text{ ml/Nm}^3 \text{ de fumées}$$

$$\text{ClH} = 212 / 1,454 = 146 \text{ ml/Nm}^3 \text{ de fumées}$$

$$\text{FH} = (215 \times 22,4) / (19) \times (7,536 \times 1,454) = 23 \text{ ml/Nm}^3 \text{ de fumées}$$

2-5) - Oxyde d'azote N₂ par thermie th produite ou KWh thermique produit :
(sachant que 1 KWh = 0,86 thermie)

- les mesures donnent en moyenne 280 ml/ Nm³ de NO₂
d'où $0,280 \times 10,956 = 3,68$ litres de NO₂ par Kg de charbon

- sachant que le poids spécifique de NO₂ est de 2,05 g / l ,
on obtient : $3,68 \times 2,05 = 7,54$ g par Kg de charbon
ce qui nous donne $7,54 / 6,900 = 1,1$ g / th = 0,94 g/KWh

2-6) - **RECAPITULATIF** - la combustion de 1 kg de charbon (à 10 % de cendres où d'imbrûlés) donne :

-Sachant que l'analyse élémentaire d'un morceau de charbon lorrain sur produit sec est :

Carbone C en % : 77
 Hydrogène H en % : 4
 Oxygène O en % : 7
 Soufre S en % : 1

Azote N en % : 0,75
 Chlore Cl en % : 0,25
 Fluor F en mg / Kg 230 mg / Kg

P.C.S. : 7150 Kcal/Kg = 7,15 th/Kg

P.C.I. : 6900 Kcal/Kg (sur sec) = 6,9 th/Kg

Combustion 1 Kg Charbon (à 10 % de cendres)	Volume réel des fumées	Fumées neutres	Besoin O2	Rejet par thermie	Rejet par KWh	Rejets Cheminée (volume)	Rejets Cheminée (poids)
Excès d'air	31 %	-	-	-	-	-	-
CO2	-	1428 litres	1437 litres	-	-	-	2800 g
H2O	-	(448 litres)	224 litres	-	-	-	-
SO2	-	6,8 litres	7 litres	2,89 g/th	2,48 g/KWh	635 ml/Nm3	19,92 g
Cl	-	-	-	0,36 g/th	0,31 g/KWh	-	2,47 g
HCl	-	1,6 litres	-	-	-	146 ml/Nm3	2,60 g
N2 air de combustion	-	6094 litres	-	-	-	-	-
N2 (du charbon)	-	6 litres	-	-	-	-	-
F	-	-	-	31,2 mg/th	26,8 mg/KWh	-	-
FH	-	-	-	-	-	23 ml/Nm3	215 mg
Oxydes d'azote Nox en NO2	-	-	-	1,1 g/th	0,94 g/KWh	280 ml/Nm3	7,59 g
TOTAL	10956 litres	7536,4 litres	-	-	-	-	-