

### Exercice 1 : Le besoin en air d'un moteur sur banc d'essai

On brûle de l'essence (composition chimique : carbone (85,5 % de la masse), hydrogène (14,4 %), et soufre (0,1 %)) dans un moteur sur banc d'essai et obtient les caractéristiques suivantes :

<<Vitesse moteur>>	Puissance brute	Puissance corrigée	Couple brut	Couple corrigé	Température huile moteur	Température Echappement t 1	Température eau sortie moteur	Couple brut	Ouverture Papillon (lecture)
Tr/min	kW	kW	N.m	N.m	°C	°C	°C	N.m	%
1490	2,68	2,849	17,17	18,26	92,41	554,4	86,7	17,17	60
1995	4,024	4,278	19,26	20,48	89,62	568,3	86,7	19,26	60
2534	4,825	5,13	18,18	19,33	91,42	592,2	87,71	18,18	60
3007	4,876	5,183	15,48	16,46	94,57	613,1	87,71	15,48	60
3503	5,284	5,617	14,4	15,31	93,11	618,7	87,71	14,4	60
3744	6,154	6,542	15,7	16,69	92,21	637,2	87,99	15,7	60

<<Vitesse moteur>>	Débit massique air	Débit massique carburant	Consommation spécifique	Débit volumique eau refroidissement	Pression huile	Puissance perdue à l'échappement	Taux de pertes à l'échappement	Rapport air / essence
Tr/min	g/s	g/s	g/kW.h	l/min	Bar	kW	%	
1490	5,703	0,345	473,2	-0,05	2,739	3,201	22,55	17,6
1995	8,069	0,3999	354,8	-0,05	3,003	4,583	26,45	20,34
2534	9,349	0,5316	394,2	1,957	3,137	5,574	24,18	17,74
3007	10,85	0,6445	479,4	2,064	3,269	6,752	24,04	16,97
3503	12,92	0,8806	599,4	1,937	3,408	8,156	21,19	14,76
3744	13,53	1,022	596,3	1,406	3,381	8,879	19,86	13,27

Tous les calculs sont à faire pour une vitesse du moteur de 2534 tours/min.

- En générale : quelle masse d'air est nécessaire pour brûler 1 kg d'essence ? Déterminer l'excès d'air  $\lambda$  pour ce moteur.
- Déterminer le débit-masse des gaz d'échappement avec un bilan des débits-masse.
- Déterminer les débits-masse des différents composants ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , ...) des gaz d'échappement.
- Additionner les débits-masse de c) et comparer avec b).

### Exercice 2 : Bilan Carbone pour une maison : émissions directes de $\text{CO}_2$ pour différents combustibles

Le but de l'exercice est de déterminer la quantité de  $\text{CO}_2$  émis par différents combustibles. On considère une maison de  $100 \text{ m}^2$  à 4 personnes pour lequel le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont assurés par une chaudière conventionnelle brûlant un combustible fossile. Le besoin annuel pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ensemble est de 20 MWh.

Calcul pour une chaudière conventionnelle à gaz :

- A l'aide de la partie « Pouvoirs calorifiques » du tableau 2 Combustibles gazeux (voir SAVOIR/ME-Energétique 2A\CM Machines thermiques/Tableaux Combustion) : Combien de  $\text{m}^3$  de gaz naturel de Groningue (plus grande ressource en gaz des Pays Bas) est-ce qu'on a besoin annuellement pour assurer le chauffage et l'eau chaude sanitaire de la maison ? Pour savoir si vous devez utiliser le PCI ou PCS pour une chaudière conventionnelle : consultez les transparents 2 et 3 du Poly Combustion.
- A l'aide du « Tableau 1 : Exemple gaz naturel » rempli en cours magistral (ou dans un des tableaux en bleu dans le Powerpoint « Combustion ») : combien de  $\text{m}^3$  de  $\text{CO}_2$  sont émis dans

l'atmosphère annuellement par cette maison ? Combien de kg de CO<sub>2</sub> sont émis dans l'atmosphère annuellement par cette maison ? (Masse volumique du CO<sub>2</sub> : 1,8 kg/m<sup>3</sup>) ?

Calcul pour une chaudière conventionnelle à fioul. A l'aide du tableau 4 Fiouls :

- c) Combien de kg de fioul domestique (français) est-ce qu'on a besoin annuellement pour assurer le chauffage et l'eau chaude sanitaire de la maison ?
- d) Combien de % de CO<sub>2</sub> de plus sont émis dans l'atmosphère annuellement par cette maison par rapport à une maison chauffée au gaz ? Inspirez vous du calcul du débit de CO<sub>2</sub> de l'exercice 1c).

Explication : Ceci est dû au fort pourcentage de carbone dans le fioul par rapport au gaz.

Calcul pour une chaudière conventionnelle à charbon :

- e) Combien de kg de charbon (il s'agit d'houille) est-ce qu'on a besoin annuellement pour assurer le chauffage et l'eau chaude sanitaire de la maison (PCI : 32,4 MJ/kg ; PCS : 33,5 MJ/kg) ?
- f) Combien de % de CO<sub>2</sub> de plus sont émis dans l'atmosphère annuellement par cette maison par rapport à une maison chauffée au gaz (Composition massique du charbon : C<sub>m</sub> : 0,824 ; O<sub>m</sub> : 0,098 ; H<sub>m</sub> : 0,053 ; S<sub>m</sub> : 0,014 ; N<sub>m</sub> : 0,011) ?

Explication : Dû au fort pourcentage d'hydrogène dans le fioul le pouvoir calorifique du fioul est plus élevé que celui du charbon.

### Exercice 3 : Combustion d'un gaz naturel

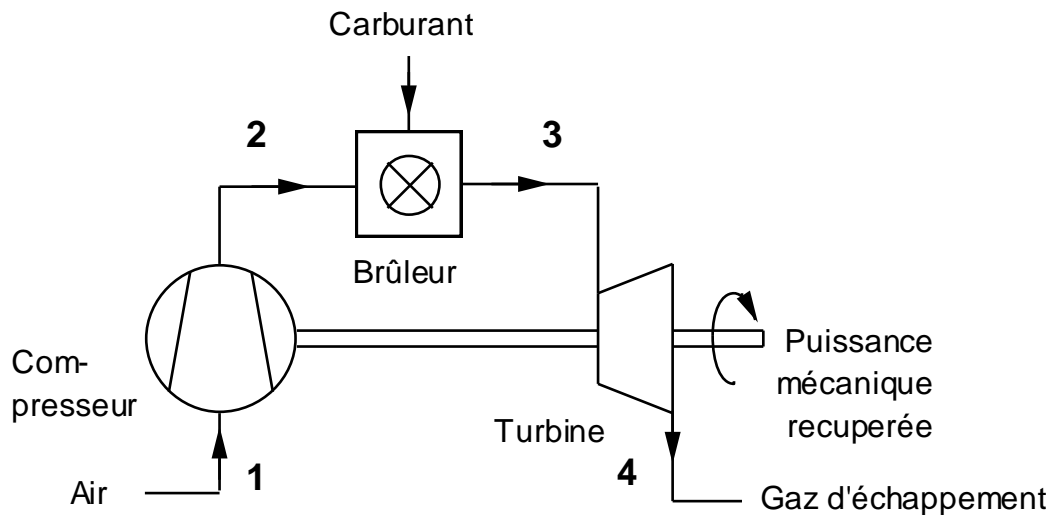
L'analyse molaire d'un gaz naturel donne : CH<sub>4</sub> : 80,62 % ; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> : 5,41 % ; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> : 1,87 % ; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> : 1,60 % ; N<sub>2</sub> : 10,50 %.

- a) Déterminer la quantité stœchiométrique de dioxygène (en kmol) si 1 kmol de gaz naturel est brûlé.
- b) Déterminer la composition molaire des gaz d'échappement si 1 kmol de gaz naturel est brûlé stœchiométriquement.

Le gaz est brûlé avec un excès d'air ce qui donne la composition molaire des gaz d'échappement secs suivante : CO<sub>2</sub> : 8 % ; O<sub>2</sub> : 7 % ; N<sub>2</sub> : 85 %.

- c) La quantité duquel des trois gaz au-dessus reste constante quand l'excès d'air varie ? Déterminer la quantité d'oxygène dans les gaz d'échappement. Déterminer l'excès d'air  $\lambda$  (sous forme de rapport molaire).
- d) Déterminer le rapport «air introduit»/combustible sous forme de rapport molaire.

### Exercice 4 : $\lambda_{\text{optimal}}$ d'une turbine à gaz



L'air sort du compresseur à une température de 300 °C. Le brûleur (adiabatique) de la turbine à gaz doit produire 100 kg/s de gaz d'échappement. Le combustible utilisé est de l'essence ( $C_m = 0,837$  ;  $H_m = 0,143$  ;  $S_m = 0,02$  ;  $PCS = 45,7$  MJ/kg ;  $PCI = 42,6$  MJ/kg, apport d'enthalpie dû à la température de l'essence négligeable). La capacité thermique massique (à pression constante) des gaz d'échappement est de 1,15 kJ/(kg K), celle de l'air 1,02 kJ/(kg K).

Remarque :  $C_m (H_m, S_m) = \frac{\text{masse des atomes de Carbone (Hydrogène, Souffre) dans l'essence}}{\text{masse de l'essence}}$

- Déterminer le débit-masse de l'essence et de l'air dans le cas d'un excès d'air de 1,2. Quelle est la température des gaz d'échappement après le brûleur ?
- La température des gaz d'échappement déterminée en a) endommagerait les aubes de la turbine. On décide d'augmenter l'excès d'air ce qui a deux effets : on refroidit les gaz d'échappement et on brûle moins d'essence. Quel est le débit-masse de l'air et celui de l'essence dans le cas d'un débit des gaz d'échappement de 100 kg/s à 1000 °C ? Déterminer l'excès d'air dans ce cas.
- Il y a encore une autre valeur de  $\lambda$  que celle de b) afin d'obtenir un débit des gaz d'échappement de 100 kg/s à 1000 °C : si on diminue le débit d'air, la combustion devient incomplète et la température des gaz d'échappement baisse par rapport à celle de a). Déterminer le nouveau  $\lambda$  en supposant que la chaleur massique libérée par la combustion diminue quand  $\lambda$  est inférieur que 1,2. On prend en compte cette diminution de la chaleur massique libérée en remplaçant PCI de la question b) par  $PCI \cdot \lambda / 1,2$ . Quel est le débit-masse de l'air et celui de l'essence dans ce cas ?
- Quelle solution est mieux d'un point de vue de coût de fonctionnement et/ou pollution de l'environnement : b) ou c) ? Justifier votre réponse.