

Eléments de correction

Q1. Bilan de puissance de la chaudière :

$$P_b = P_c + P_f + P_p + P_u \quad \text{et} \quad P_b = \frac{P_u}{\eta} = \frac{2400}{\eta} \dot{m}_v.$$

Q2. Définir ce qu'est le pouvoir comburivore d'un carburant ou combustible.

Le pouvoir comburivore exprime la quantité strictement nécessaire d'air pour assurer la combustion neutre d'un combustible.

Q3. En faisant une recherche documentaire donner le pouvoir comburivore du méthane pur et du fuel en combustion stœchiométriques.

On consomme 12,5 m³ pour 1 litre de fioul et il faut 9,52 volumes d'air pour brûler dans les conditions stœchiométriques un volume de méthane dans des conditions standards (NM³).

Q4. Le bilan de puissance au brûleur s'exprime par l'équation suivante :

$P_b = Q_m \cdot PCIM + Q_f \cdot PCIF$, le débit de méthane est relié au débit de biogaz par la relation $Q_m = 0,58 \cdot Q_b$ soit $P_b = 0,58 \cdot Q_b \cdot PCIM + Q_f \cdot PCIF$ en divisant le tout par P_b on obtient bien l'équation demandée.

Q5. Débit de biogaz :

$$\frac{2400}{\eta \cdot 0,58 \cdot PCIM} \dot{m}_v = Q_b, \text{ soit en application numérique :}$$

$$\frac{2400}{0,9 \cdot 0,58 \cdot 10} \cdot \frac{6500}{3600} = Q_b, \text{ on trouve environ } Q_b = 830 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Q6. Débit Q_f :

$$\frac{2400}{\eta \cdot PCIF} \dot{m}_v = Q_f, \text{ soit en application numérique } \frac{2400}{0,9 \cdot 10} \cdot \frac{6500}{3600} = Q_f, \text{ on trouve alors } Q_f = 481,5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$$

Q7. Débit pour le mixte 1 :

$$Q_b = \frac{0,5 \cdot 2400 \cdot 6500}{0,58 \cdot PCIM \cdot 0,9 \cdot 3600} \quad \text{et} \quad Q_f = \frac{0,5 \cdot 2400 \cdot 6500}{PCIF \cdot 0,9 \cdot 3600}, \text{ ce qui donne :}$$

$$Q_f = 240,74 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{et} \quad Q_b = 415 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}.$$

Q8. Débit d'air Q_a :

$$Q_a = Q_m \cdot PCAM + Q_f \cdot PCAF$$

$$Q_a = B\% \cdot \frac{2400}{\eta \cdot PCIM} \cdot \dot{m}_v \cdot PCAM + F\% \cdot \frac{2400}{\eta \cdot PCIF} \cdot \dot{m}_v \cdot PCAF.$$

Dans le cas d'un mixte quelconque compte tenu que $PCIM = PCIF$ on obtient :

$$Q_a = \frac{2400}{\eta \cdot 10} \cdot \dot{m}_v \cdot (B\% \cdot PCAM + F\% \cdot PCAF).$$

$$Q_a = \frac{2400}{0,9 \cdot 10} \cdot \frac{6500}{3600} \cdot (0,5 \cdot 9,52 + 0,5 \cdot 12,5) = 5301 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Q9. Avec un excès d'air de 10 % et 100 % méthane :

$$Q_a = 481,5 \cdot 9,52 \cdot 1,1 = 5041 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Q10. La solution d'une régulation sur une valeur cible de O_2 permet de s'affranchir des caractéristiques de l'air qui vont avoir une incidence sur les rendements de la chaudière et des mauvaises combustions (production de monoxydes et combinaison de l'oxygène avec d'autres espèces chimiques présentes dans le biogaz). On pourra grâce à la régulation agir sur la quantité d'air en ajustant le ratio air /carburant. Elle permet aussi d'avoir indépendamment du débit de vapeur un taux fixe.

Q11. Pour un volume donné de méthane pur (CH_4) on produit lors de la combustion :

1 volume CO_2 + 2 volumes H_2O et $(1 + \frac{\lambda\%}{100})7,52$ de diazote.

La proportion présente de dioxygène est : $\frac{2\lambda\%}{100}$ de dioxygène. En rapportant cette proportion à l'ensemble des rejets on obtient bien la relation demandée.

Pour un excès d'air de 10 % soit $\lambda\% = 10$ on obtient :

$$O_2 \% = \frac{2 \cdot 10}{3 + 2 \cdot \frac{10}{100} + 7,52 \cdot (1 + \frac{10}{100})} = 1,74 \%$$

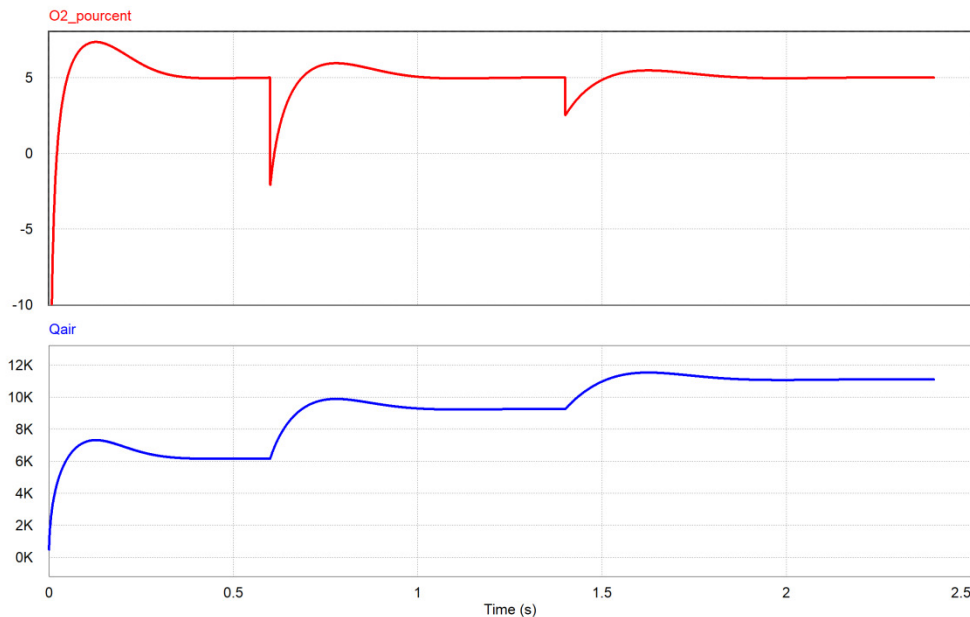
On pourra éventuellement vérifier la cohérence des valeurs relevées expérimentalement par l'analyseur de fumées, consignées dans les fichiers de données.

Analyse de la régulation du taux de dioxygène :

Avant de conduire une simulation avec les perturbations, on vérifie en menant une simulation que pour une valeur cible de 0%, on obtient la bonne valeur d'excès d'air.

La simulation est conduite pour une consigne de 5 % avec une perturbation sur le débit d'air, puis une perturbation directement sur le taux d'O₂.

Les résultats sont consignés ci-dessous :



La première perturbation découle d'une augmentation de 50 % du débit de méthane, (demande de vapeur qui augmente), elle intervient à 0,6 s. On voit que l'on passe en manque d'oxygène pour le débit demandé avec une phase transitoire. La boucle de régulation réagit en augmentant le débit d'air pour obtenir un taux en sortie de 5 %.

La première perturbation qui intervient à 1,4 s, rend compte d'une variation négative directement sur la sortie d'amplitude (-2,5 %). Elle est de type échelon, d'où le front descendant de 5 à 2,5. Parallèlement le débit d'air augmente avec un régime transitoire pour ramener le taux à 5%.

La rapidité de la boucle d'asservissement du débit requis est cruciale dans le fonctionnement pour éviter un régime transitoire trop long engendrant une durée en combustion incomplète trop longue et la production des monoxydes de carbone ou de NO_x.

En général il y a une régulation en cascade avec la boucle interne plus rapide que la boucle externe.