

Activité 4 : maîtrise de la combustion, régulation du rapport air/carburant

La chaudière est une chaudière mixte fioul/méthane. La puissance utile est liée au débit massique de vapeur par l'équation suivante : $P_u = 2400 \cdot \dot{m}_v$ où \dot{m}_v est le débit massique de vapeur en $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ et P_u la puissance utile en kW.

Le débit de vapeur est variable compte tenu de la variabilité des conditions de fonctionnement. Il dépend, entre autres :

- du débit de moût fermenté,
- de la teneur en alcool pur du moût,
- et de la température du moût.

Aussi, il faut constamment ajuster les débits de carburant et de comburant adressés à la chaudière. Dans cette activité, il est proposé de réguler et d'optimiser la combustion.

Tous les débits (vapeur, air, fuel et méthane) sont mesurés en permanence.

Le bilan de la chaudière fait apparaître des pertes au niveau de la cuve (conduction-radiation-convection) principalement notées P_c , des pertes par les fumées P_f et des pertes par les purges P_p . La puissance au brûleur est notée P_b .

- Q1.** Donner la relation qui relie ces puissances. Le rendement global de la chaudière est $\eta = 90 \%$. En déduire P_b en fonction du débit massique de vapeur.
- Q2.** Définir ce qu'est le pouvoir comburivore d'un carburant ou d'un combustible.
- Q3.** En faisant une recherche, donner les pouvoirs comburivores du méthane pur et du fuel en combustion stœchiométrique.

Dans la distillerie, quatre stratégies de commande des débits de méthane, de fuel et d'air sont adoptées. On parle alors de mixte énergétique :

- **Biogaz-seul** : 100 % biogaz,
- **Mixte 1** : 50 % biogaz, 50% fuel,
- **Mixte 2** : 25 % biogaz, 75 % fuel,
- **Fuel Seul** : 100 % fuel.

Le choix du mixte dépend de la quantité de méthane disponible, on priorise évidemment sur le méthane.

Le biogaz est composé à 58 % de méthane. On note Q_b le débit de biogaz. On note respectivement PCIM et PCIF le pouvoir calorifique inférieur du méthane et le pouvoir calorifique inférieur du fuel. $PCIM = 10 \text{ kWh} \cdot \text{Nm}^3$ et $PCIF = 10 \text{ kWh} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le débit de vapeur est de 6,5 tonnes par heure en moyenne sous une pression P_v de 10 bars.

Q4. Montrer que $1 = 0,58 \frac{Q_b}{P_b} \cdot PCIM + \frac{Q_f}{P_b} \cdot PCIF$

Q5. Dans le cas du biogaz seul, exprimer Q_b en fonction du débit de vapeur. Calculer le débit de biogaz.

Q6. Dans le cas du fuel seul, en déduire Q_f en fonction du débit de vapeur. Calculer Q_f .

Q7. Dans le cas du mixte 1 déterminer le débit de biogaz et le débit de fioul.

On note B% et F% le pourcentage de la contribution de la puissance au brûleur respectivement pour le biogaz et le fuel.

Q8. On note PCAF et PCAB le pouvoir comburivore pour le fuel et le biogaz. En déduire l'expression du débit d'air dans le cas général puis calculer ce débit dans le cas du mixte 1.

Q9. Dans le cas d'une alimentation en 100 % méthane en déduire le débit d'air.

Régulation du taux de dioxygène :

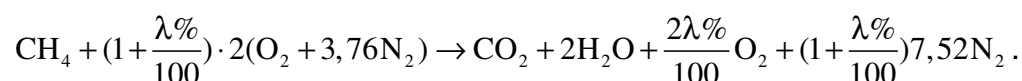
Dans la pratique une sonde de O_2 rend compte de l'excès d'air. Cette dernière agit dans une boucle de réaction destinée à renseigner l'automate et à faire évoluer par une chaîne d'action la vitesse du ventilateur et donc le débit d'air.

Q10. Donner l'intérêt de cette solution en consultant ce site :

<https://energie.wallonie.be/fr/l-exces-d-air-dans-la-combustion-peut-nuire-a-la-sante-de-votre-porte-monnaie.html?IDC=8049&IDD=97761>

Dans un premier temps les perturbations de types air parasites (par les orifices, les ouvertures, les joints etc.) sont nulles. Autrement dit, tout l'air amené par le ventilateur centrifuge est utile à la combustion. On admet une combustion avec un excès d'air quelque soit le mode de fonctionnement de la chaudière.

Pour simplifier, on considère une alimentation uniquement avec du méthane (CH_4). L'équation de combustion en excès d'air est donnée par :

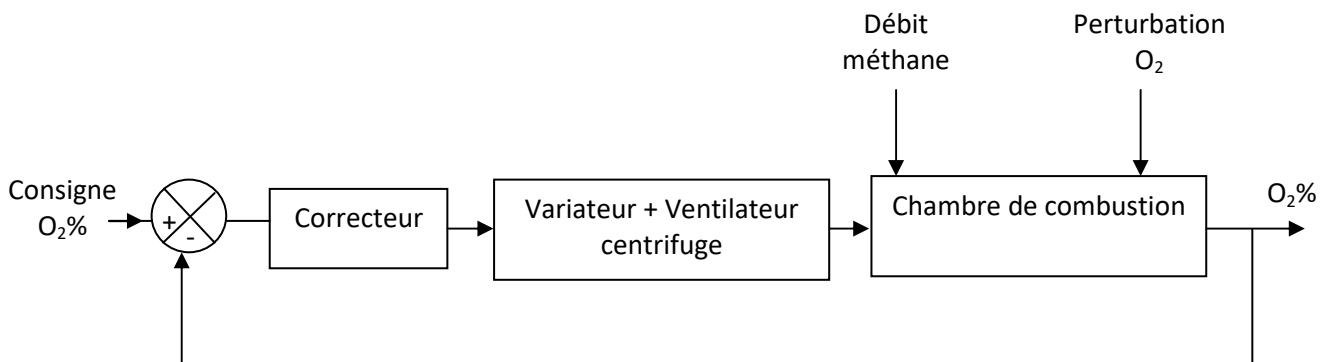


Q11. Montrer que le taux de rejet de O_2 s'exprime par la relation suivante en % et calculer $O_2\%$ pour un excès d'air de 10 % soit $\lambda\% = 10$.

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

Simulation de la régulation de $O_2\%$:

Un modèle multiphysique de la combustion en excès d'air a été élaboré selon l'architecture suivante pour un débit de méthane de $481,5 \text{ Nm}^3$.



Attention, dans le modèle multiphysique mis en place, les constantes de temps ont été réglées afin d'engendrer des durées de simulation compatibles avec les durées d'apprentissage tout en conservant les allures et les aspects comportementaux.

Q12. Conduire une simulation avec le fichier `Modèle_combustion_PI.psimsch` :

- Vérifier que pour une consigne de 0 on obtient bien la bonne valeur de débit ainsi qu'un excès d'air de 0 %.
- A la distillerie la valeur cible est $O_2\% = 5$. Vérifier qu'en l'absence de perturbation de débit (à paramétrer à 0) on a bien les valeurs escomptées pour $\lambda\%$ et $O_2\%$.
- La boucle de contrôle du débit de méthane provoque une consigne de débit qui augmente de 50 %. Paramétrer la perturbation de débit en conséquence. Mener une simulation puis analyser le comportement de la régulation de $O_2\%$. Commenter les performances obtenues.
- Créer une perturbation de $PO_2\%$ comme suit qui intervient après stabilisation de la régulation, puis analyser l'évolution de la sortie et les performances de cette régulation.

Activité 4 : régulation du rapport air/carburant

