

COMBUSTION FONDAMENTALE

TD 3 : FLAMME PREMELANGEE PLANE LAMINAIRE.

On se propose d'étudier une flamme plane, laminaire, stationnaire, isobare et adiabatique, alimentée par un mélange gazeux combustible R , de masse molaire $M = 32 \text{ g}$, initialement à $T_f = 300 \text{ K} = T^*$ et à $p_f = 1 \text{ bar}$. Soit P le gaz produit de la réaction globale, d'enthalpie de réaction $\Delta h^* = -2630 \text{ kJ/kg}$ de mélange.

On assimile les réactifs et les produits à des gaz parfaits, non visqueux, de chaleur spécifique moyenne à pression constante : $c_p = 1,3 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et de conductibilité thermique $\lambda = 3.10^{-2} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

I) On admet que les gaz frais sont portés à la température adiabatique de flamme T_b grâce au flux de chaleur transmis des gaz brûlés vers les gaz frais, qu'ils se transforment instantanément en gaz brûlés dès qu'ils atteignent la température T_b et que la diffusion des espèces est négligeable.

1. On constate expérimentalement que le débit surfacique des gaz à travers la flamme est $\dot{m} = 0,385 \text{ kg/m}^2\text{s}$. En admettant, en première approximation, que l'élévation de température des gaz frais s'effectue dans une zone d'épaisseur Δ et que la densité de flux de chaleur issue des gaz brûlés est la même en tout point de cette zone, en déduire :

(a) L'épaisseur Δ de la zone de flamme

(b) La température réduite $\tau = \frac{T - T_f}{T_b - T_f}$ des réactifs, en fonction de l'abscisse x

(choisie telle que $x \geq 0$ pour $\tau = 1$).

(c) La vitesse fondamentale V_F de la flamme.

(d) Le taux de production ω rapporté à tout le volume de la flamme.

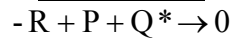
(e) La température T_b des gaz brûlés.

(f) Les nouvelles valeurs de l'épaisseur de flamme, de la vitesse fondamentale et du taux de production si la pression de combustion n'est plus que $p_f = 10^{-1} \text{ bar}$ (l'ordre de la réaction étant supposé égal à 2 pour cette seule question).

2. On reconnaît qu'en fait l'élévation de température des gaz frais s'effectue dans toute la zone des gaz frais (et non sur la seule zone d'épaisseur Δ) et on ne suppose plus que le flux de chaleur est le même en tout point, donc on admet qu'il y a transport d'énergie lié au mouvement convectif des gaz frais.

En utilisant l'équation de bilan d'énergie, et en notant qu'à l'infini amont les gradients sont nuls, en déduire le nouveau profil $\tau(x)$ des températures réduites. Comparer au résultat précédent (1-a).

II) On considère maintenant que les Produits peuvent diffuser vers la zone thermique. Donc les Réactifs et Produits ne sont plus séparés. De plus, la réaction chimique n'est plus instantanée en un point. On suppose la loi de Fick applicable et le nombre de Le = 1. On considère la réaction chimique globale d'ordre unité :



où le taux de production ω_p est donné par les lois classiques d'action de masse et d'Arrhenius.

1. Donner l'expression du taux de production chimique pour la réaction considérée
2. On pose $\Lambda = \frac{\lambda}{\dot{m}^2 c_p} \rho B T^\alpha e^{-E/RT}$, écrire l'équation différentielle que vérifie τ fonction de $\xi = x/\Delta$.
3. Pour résoudre l'équation précédente en τ on considère qu'il existe une valeur τ_i de τ (analogue à une température d'inflammation) et telle que :
 - pour $0 < \tau < \tau_i$ (zone thermique) Λ_0 négligeable car $\tau \ll 1$
 - pour $\tau_i < \tau < 1$ (zone chimique) $\Lambda_0 = \Lambda_b = cte$ car $\tau \approx 1$.
 (Λ_b étant la valeur de Λ_0 pour $T = T_b$ c'est-à-dire $\tau = 1$). On prendra l'origine des axes ($\xi = 0$) au point où $\tau = \tau_i$.

On demande :

- (a) de résoudre en zone thermique
 - (b) de résoudre en zone chimique
 - (c) d'étudier, en zone chimique, le cas où Λ_b est grand. On conservera cette hypothèse (Λ_b grand) dans la suite du problème.
 - (d) de raccorder les deux solutions au 1^{er} ordre pour en déduire τ_i fonction de Λ_b et τ de ξ (au paramètre Λ_b) en zones thermique puis chimique.
4. (a) En déduire l'écart $T = T_b - T_i$ entre la température adiabatique de flamme T_b et celle dite d'inflammation T_i , en fonction de Λ_b .
 (b) Application numérique. Calculer Λ_b et ΔT .
 On donne $B = 10^{+13}$ $E = 210.10^{+3}$ J/mol $\alpha = 0$.

III)

1. Donner l'expression du taux de production chimique en fonction de Λ_b et ξ .
2. Tracer les courbes de production et de températures réduites τ thermique et chimique.
3. En les assimilant à leurs tangentes à l'origine ($\xi = 0$), donner l'expression des épaisseurs réduites des zones thermique et chimique. Les comparer.