

# Application pratique de la propagation d'une flamme sur un combustible liquide

Eugène Degroote

Grupo de Computación Natural, Laboratorio de Sistemas Complejos, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, Campus de Montegancedo, 28660-Boadilla del Monte, Madrid, Spain  
eugenio.degroote@upm.es

**Résumé.** L'étude de la propagation d'une flamme sur un combustible liquide a permis de découvrir cinq régimes de propagation différents, séparés par quatre températures critiques  $T_1, T_2, T_3, T_4$ . L'étude des mécanismes de propagation nous a permis de découvrir que la température superficielle initiale du combustible constitue le principal paramètre qui nous permet de contrôler la vitesse de propagation de la flamme ( $v_f$ ) [1,2]. L'étude expérimentale nous a aussi permis de préciser le rôle de la convection que nous observons dans la phase liquide devant la flamme. Ces deux facteurs (convection devant la flamme et température superficielle initiale) nous permettent de contrôler de façon effective la vitesse de propagation d'une flamme et donc d'améliorer les conditions de sécurité dans un dépôt de combustible liquide [3]. Les premiers résultats expérimentaux, obtenus dans un petit dépôt de combustible, seront présentés ici.

**Abstract.** Flame spreading over liquid fuels has five different spreading regimes, separated by four critical temperatures  $T_1, T_2, T_3, T_4$ . The understanding of the mechanisms lead us to find that the initial fuel surface temperature is a controlling parameter of flame spreading velocity ( $v_f$ ) [1,2]. Recent experiments emphasize the role of the preheated region observed in front of the flame. These two factors (the convection zone ahead of the flame and the initial fuel surface temperature) can be used to control flame propagation velocity and, therefore, fire safety conditions on fuel containers can be increased [3]. The very first experimental results, obtained in a small fuel container, will be shown here.

## 1 Propagation d'une flamme sur un combustible liquide : Résultats expérimentaux

La propagation d'une flamme sur un combustible liquide présente un comportement différent du combustible liquide. Si nous prenons la température superficielle de combustible liquide ( $T_\infty$ ) comme paramètre, nous trouvons expérimentalement que la vitesse de propagation présente cinq régimes de propagation différents, soit :

- Si  $T_\infty > T_1$ , la vitesse de propagation ( $v_f$ ) est uniforme et presque constante  $v_f \approx 100\text{cm/s}$  (régime uniforme I).
- Si  $T_2 \leq T_\infty \leq T_1$ , la vitesse de propagation est uniforme, avec  $\frac{dv_f}{dT_\infty} \approx 10.0(\text{cm/s} \cdot K)$  (régime uniforme II).
- Si  $T_3 \leq T_\infty \leq T_2$ , la vitesse de propagation est encore uniforme, mais dans ce nous trouvons  $\frac{dv_f}{dT_\infty} \approx 1.0(\text{cm/s} \cdot K)$  (régime uniforme III).
- Si  $T_4 \leq T_\infty \leq T_3$ , la vitesse de propagation n'est plus uniforme (régime oscillatoire).
- Si  $T_\infty \leq T_4$ , la propagation est uniforme mais très lente, avec  $v_f \approx 1\text{cm/s}$  (régime pseudouniforme).

Les températures critiques  $T_1, T_2, T_3, T_4$  correspondent, respectivement à une bifurcation stationnaire ( $T_1$ ), une bifurcation transcritique ( $T_2$ ), une bifurcation de Hopf sous critique ( $T_3$ ) et à une connection homoclinique ( $T_4$ ). Elles ont été observées pour divers combustibles liquides. Voilà une différence par rapport aux combustibles solides, où la seule température observée est  $T_1$ .

## 2 Analogie Solide-Liquide

Si nous réalisons une analyse théorique du transfert thermique et de quantité de mouvement entre la phase gazeuse et le combustible (considéré comme un solide) à la proximité de front de flamme, nous trouvons la relation suivante entre la vitesse de propagation du front de flamme ( $v_f$ ) et la température superficielle initiale ( $T_\infty$ ) :

$$v_f \propto \frac{(T_f) - T_\infty}{T^{1/3}(T_b) - T_\infty)^2} \approx \frac{1}{T^{1/3}(T_b) - T_\infty)^2}$$

Cette relation théorique correspond très bien avec les résultats expérimentaux obtenus pour les régimes uniformes I-II, pour tous les combustibles utilisés. C'est à dire, la propagation d'une flamme sur un combustible liquide est exactement la même que dans le cas d'un solide avec les mêmes propriétés physiques.

## 3 Convection devant la flamme

Quoique les combustibles liquides présentent une progression similaire au cas solide pour les régimes uniforme I-II, ce modèle ne correspond pas à nos résultats expérimentaux pour les autres régimes. Ceci est du au fait de l'apparition, devant le front de flamme, d'une zone de convection thermocapillaire qui modifie les conditions de transfert thermique et contribue à augmenter la vitesse de la flamme, ce qui produit les autres régimes de propagation observés.

## 4 Contrôle de la propagation d'une flamme

A partir des résultats décrits, nous avons trouvé que, pour contrôler la vitesse de propagation d'une flamme sur un combustible liquide, il suffit de contrôler deux facteurs :

- La température superficielle initiale du liquide ( $T_\infty$ ).
- La zone convection qui se forme devant la flamme par thermocapillarité.

Le seul contrôle de ces deux paramètres permet de réduire de façon significative la vitesse de propagation de la flamme, voire de produire son extinction. L'application de ces résultats permettra d'améliorer les systèmes de sécurité dans les différents dépôts de combustibles que l'industrie du pétrole peut nous fournir. Il est évident que les bénéfices que ce résultat peut nous fournir aura des conséquences bénéfiques sur notre écosystème. Dans le même sens, les pertes que les incendies dans les dépôts de combustible produisent peuvent, de cette façon, être minimisées.

## Références

1. K. AKITA, *Fourteenth International Symposium on Combustion*, 1075-1083 (1973).
2. E. DEGROOTE & P. L. GARCIA-YBARRA, *European Physical Journal B*, **13**, 381-386 (2000).
3. E. DEGROOTE & P. L. GARCIA-YBARRA, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **80**, 541-558 (2005).