

Une vague auto-similaire pour l’atomisation

Jérôme Hoepffner^{1,2}, Ralf Blumenthal^{1,2} & Stéphane Zaleski^{1,2}

¹ UPMC, Univ. Paris 06, UMR 7190, Institut Jean Le Rond D’Alembert, F-75005 Paris, France.

² CNRS, UMR 7190, Institut Jean Le Rond D’Alembert, F-75005 Paris, France.

`jerome.hoepffner@upmc.fr`

L’atomisation est l’ensemble des processus par lesquels un corps liquide peut être transformé en gouttelettes ; c’est une étape essentielle lorsque l’on veut favoriser ce qui se passe à l’interface liquide/gaz, par exemple lors de la combustion de carburant liquide. C’est par le biais d’instabilités que se produit le plus souvent l’atomisation : le filet d’eau qui coule du robinet devient gouttes par une instabilité d’étranglement due à la tension de surface : Rayleigh–Plateau. A plus grande vitesse, des instabilités dynamiques vont jouer le rôle déterminant, notamment l’instabilité de Kelvin–Helmholtz due à la zone de cisaillement entre le jet liquide et son gaz environnant.

Dans le cas dynamique, cette instabilité primaire ne suffit pas à créer des gouttes, il faudra une succession de mécanismes pour passer des ondes d’interface en vagues, qui se déstabiliseront selon la direction transverse pour donner naissance à des ligaments étirés. Ces ligaments seront à leur tour la proie de mécanismes de dislocation via entre autres l’instabilité de tension de surface [1].

La génération des vagues d’interfaces pour l’atomisation est traditionnellement abordée avec les outils du linéaire, en supposant des perturbations d’amplitude infinitésimale. Ici, nous cherchons à déterminer s’il est possible de mettre en évidence des comportements non linéaires singuliers—caractéristiques, représentatifs—qui nous permettront par la suite de mettre en lumière les étapes intermédiaires de la génération de gouttelettes.

Pour cela nous nous plaçons dans le cadre idéal d’une couche de mélange diphasique, caractérisée par sa tension de surface, le rapport des densités et la vitesse relative des deux phases, ainsi que l’épaisseur de la couche de cisaillement. Nous simulons (voir [2] pour les méthodes numériques) l’évolution dans le temps d’une impulsion initiale localisée qui donnera rapidement naissance à une vague non linéaire. L’observation montre qu’au terme d’un court transitoire, notre vague adopte un comportement auto-similaire très simple. L’analyse dimensionnelle montre que plus la vague sera grande, plus les effets de viscosité, tension de surface et d’épaisseur de couche de mélange seront marginaux. La vague voit ainsi son évolution intrinsèquement liée à la croissance de la seule échelle spatiale restante : la vitesse relative des deux phases U fois le temps t .

Nous pouvons maintenant nous intéresser à l’impact du rapport de densité des deux phases. Ce sera l’effet physique déterminant quant à la structure de la solution non linéaire. Une analyse basée sur l’équation de Bernoulli, et qui prend en compte la loi d’échelle auto-similaire montre que la vitesse de croissance de la vague va dépendre du facteur $\sqrt{\rho_{gaz}/\rho_{liq}}$. Plus le rapport des densités est petit (moins le gaz est porteur d’énergie cinétique...), plus la croissance est lente. Nous aboutissons ainsi à une loi de croissance de la taille de la vague

$$L \propto \sqrt{\rho_{gaz}/\rho_{liq}} Ut.$$

Nous montrerons également comment la forme de la vague change avec le rapport de densité, et surtout, la manière dont la vague peut générer une bulle de recirculation de grande taille dans le gaz en aval, lorsque son avancée devient assez lente pour pouvoir représenter un obstacle au flux gazeux.

Références

1. Marmottant, P. and Villermaux, E., On spray formation, *J. Fluid Mech.* (2004) vol. 498, pp 73–111.
2. Fuster, D., Bagué A., Boeck, T., Le Moyne, L., Leboissetier, A., Popinet, S., Ray, P., Scardovelli, R., and Zaleski, S., Simulation of primary atomization with an octree adaptive mesh refinement and VOF method, *Int. J. Mult. Flow*, vol. 35, 2009, pp 550–565.