



**HAL**  
open science

## Atomisation sous champ d'accélération

Roger Prud'Homme

► **To cite this version:**

Roger Prud'Homme. Atomisation sous champ d'accélération. Colloque du GDR MFA – Belgodère, Oct 2016, Belgodère, France. hal-01983328

**HAL Id: hal-01983328**

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01983328v1>

Submitted on 16 Jan 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ATOMISATION SOUS CHAMP D'ACCELERATION

Auteur :

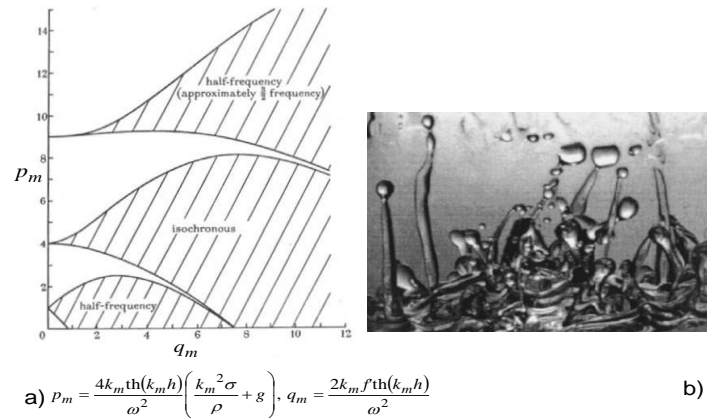
Roger Prud'homme  
Institut d'Alembert, Paris, France

La micropesanteur permet d'éviter les convections naturelles liées aux inhomogénéités de densité et de mieux accéder à certains phénomènes complexes. Cependant des champs d'accélération peuvent parfois s'ajouter à la pesanteur ou se substituer à cette dernière et donner des effets analogues. Il ne s'agit pas ici de la chute libre qui permet de compenser le champ de pesanteur et dont notre communauté bénéficie pour ses travaux expérimentaux.

Pour illustrer notre propos nous donnerons deux exemples, celui d'un champ vibratoire agissant sur une couche liquide permettant le développement d'une instabilité de Faraday et celui d'une couche de mélange accélérée en crête de l'onde de Kelvin Helmholtz causant une instabilité de Rayleigh Taylor. Ces deux cas conduisent à l'atomisation via la formation de fibres liquides. Notons que le régime en fibres correspond à une zone assez réduite du diagramme  $We-Re_L$  de Lasheras-Hopfinger [1], mais c'est le régime typique de l'injecteur coaxial LPRE.

## 1. Génération de gouttelettes par vibrations normales à la couche liquide

Dans le premier exemple, l'accélération causée par le champ vibratoire  $f' \cos(\omega t)$  normal au récipient horizontal s'ajoute à celle de la pesanteur  $g$  suivant  $g - f' \cos(\omega t)$ . Ce problème a été étudié par Benjamin et Ursell [2]. Les effets visqueux ont été étudiés en particulier par Goodridge *et al.* [3] et le problème a été repris récemment par Lalo [4] (voir la figure 1).



**Figure 1. a)** Diagramme de stabilité d'une couche liquide soumise à une oscillation forcée [2], **b)** Atomisation d'une solution d'eau distillée avec 80% de glycérine ( $\nu = 0,43 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) à la fréquence de 20Hz (d'après [3]).

## 2. Génération de gouttelettes par instabilité de Rayleigh-Taylor en crête d'une onde axiale

Dans le second exemple de l'injection superposée d'un liquide  $L$  et d'un gaz  $G$ , avec un grand rapport de quantités de mouvement  $M = \rho_G U_G^2 / \rho_L U_L^2 \gg 1$ , il se forme des ondes longitudinales quasi bidimensionnelles [5] avec  $\lambda_{axi} = C_{axi} \sqrt{\rho_L / \rho_G} \delta_G$  suivant un processus linéaire de Kelvin-Helmholtz.

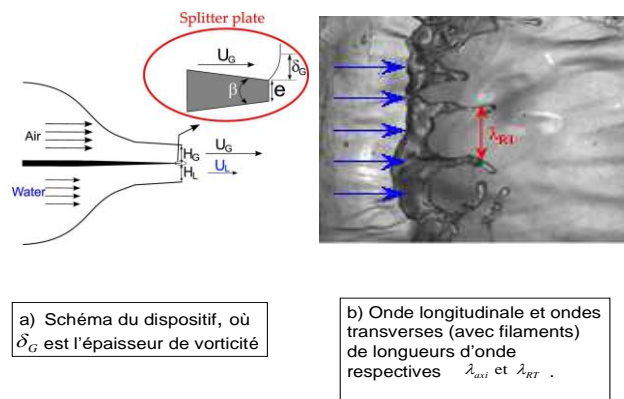
Ces ondes s'amplifient de manière non linéaire et subissent un champ d'accélération à leur crête, ce qui conduit à l'apparition d'une nouvelle instabilité – cette fois de Rayleigh-Taylor – où  $g$  est remplacée par

$$l'accélération^1 a = \frac{1}{2} \frac{C_D}{b} \frac{\rho_G}{\rho_L} (U_G - U_C)^2.$$

<sup>1</sup> Selon Varga *et al.* [6], au niveau de la crête de l'onde *axi*, l'accélération est  $a = dV_L / dt = F / m_L = F / \rho_L \mathcal{X}$

( $V_L$  vitesse du segment liquide,  $F = F_D = 1/2 C_D \rho_G (U_G - U_C)^2 A_L$  force de traînée,  $U_C$  vitesse de convection,  $A_L$  aire de la surface exposée).

La longueur d'onde est cette fois  $\lambda_{RT} = 2\pi \sqrt{\frac{3\alpha C_{axi}}{C_D}} \delta_G \left(\frac{\rho_L}{\rho_G}\right)^{1/4} \left[\frac{\rho_G (U_G - U_C)^2 \delta_G}{\sigma}\right]^{-1/2}$ .



**Figure 2.** a) Le dispositif d'injection, b) Photographie de dessus montrant les deux types d'onde : la crête de l'onde axi 2D qui se trouve déformée et l'onde de Rayleigh-Taylor 3D ainsi que les filaments émis. (D'après [7]).

### 3. Conclusion

Les fluides en mouvement présentent des instabilités interfaciales qu'il n'est pas toujours possible de faire apparaître par l'étude en petites perturbations linéarisées. Ainsi entre deux jets parallèles de vitesses très différentes, si l'étude linéaire fait apparaître une instabilité de Kelvin-Helmholtz, il faut considérer le développement ultérieur de cette instabilité primaire pour expliquer l'apparition d'une autre instabilité. La prise en compte séparée du champ d'accélération créé en crête de l'onde primaire permet d'expliquer cette nouvelle instabilité qui est de type de Rayleigh-Taylor. Il s'agit là d'une méthode phénoménologique.

Il est probable qu'un calcul non linéarisé en 3D ferait apparaître d'emblée les deux instabilités, mais aucun n'a été publié pour le moment à notre connaissance.

La résolution numérique a été faite en 2D par Fuster et al. [5], qui ont comparé avec l'analytique et les expériences. Les codes DNS existant à l'heure actuelle devraient permettre la résolution en 3D.

L'enjeu est important car les structures liquides qui apparaissent sont une étape de l'atomisation en gouttelettes [8]. Or la taille des gouttelettes est un point essentiel de l'efficacité de la combustion ultérieure dans les moteurs. De nouvelles expériences sont en préparation à l'ONERA à ce sujet.

### Références

- [1] J. C. Lasheras and E. J. Hopfinger, Liquid jet instability and atomization in a coaxial gas stream, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 32:275–308, 2000.
- [2] Benjamin T.B., Ursell F., "The stability of the plane free surface of a liquid in vertical periodic motion", *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. A 255, p. 505-515, 1954
- [3] Goodridge C.L., Tao Shi W., Hentschel H.E., Lathrop D.P., Viscous effects in droplet ejecting capillary waves", *Physical Review E*, Volume 56, p.472-475, 1997
- [4] Lalo M. « Atomisation d'un film mince liquide par action combinée des instabilités de Kelvin-Helmholtz et de Faraday. Application aux injecteurs aérodynamiques des turbomachines aéronautiques », Thèse ENSAE-ONERA, Toulouse, 2006.
- [5] D. Fuster, JP Matas, S Marty, S Popinet, J Hoepffner, A Cartellier, S Zaleski, Instability regimes in the primary breakup region of planar coflowing sheets, *Journal of Fluid Mechanics*, Volume 736, pp 150-176, 2013.
- [6] CM. Varga, JC. Lasheras & EJ. Hopfinger, Initial breakup of a small-diameter liquid jet by a high-speed gas stream, *Journal of Fluid Mechanics*, Volume 497, pp. 424-426, 2003.
- [7] F. Ben Rayana, A. Cartellier and E. Hopfinger, Assisted atomization of a liquid layer: investigation of the parameters affecting the mean drop size prediction, iclass06-190, Aug.27-Sept.1, 2006, Kyoto, Japan.
- [8] E. Villermaux, Ph. Marmottant, J. Duplat, Ligament-Mediated Spray Formation, *Physical Review Letters*, Volume 92, Number 7, 074501- 1-4 2004.