

# Fragmentation capillaire de larges bulles en milieu turbulent

Aliénor Rivière<sup>1</sup>, Daniel J. Ruth<sup>2</sup>, Wouter Mostert<sup>3</sup>, Luc Deike<sup>2</sup> & Stéphane Perrard<sup>1</sup>

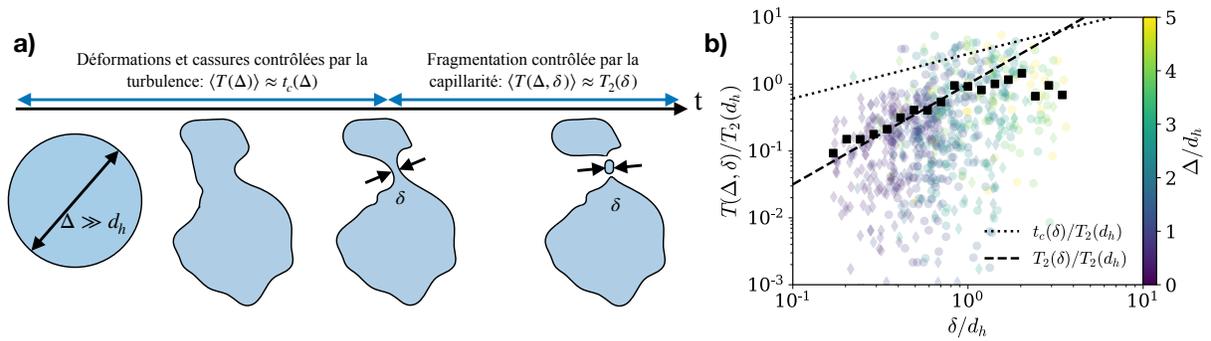
<sup>1</sup> PMMH, ESPCI Paris, Université PSL, Barre CASSAN bat. A, 7 quai Saint-Bernard, 75005 Paris

<sup>2</sup> MAE, Princeton University, Princeton, NJ 08544, United States

<sup>3</sup> Department of Engineering Sciences, University of Oxford, Parks Road, Oxford, OX1 3PJ

alienor.riviere@espci.fr

Les bulles générées par le déferlement de vagues océaniques et leur fragmentation sont à l'origine de près de 40% des transferts de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère vers l'océan [1]. De part son importance, la distribution des bulles sous les vagues a donc été fortement étudiée. Elle présente deux lois de puissance selon la taille,  $d$ , des bulles, comparée à l'échelle de Hinze,  $d_h$ , pour laquelle les forces capillaires compensent les forces de pression. Pour  $d > d_h$ , la distribution en  $d^{-10/3}$  provient d'une cascade auto-similaire d'événements de cassure [2]. En revanche, l'origine de la distribution des bulles sous-Hinze, en  $d^{-3/2}$ , reste mal comprise.



**Figure 1.** a) La cassure d'une bulle grande devant l'échelle de Hinze se fait en deux étapes : D'abord, elle se déforme sur une échelle de temps donnée par le temps typique des tourbillons à son échelle  $t_c(\Delta)$ . Ce faisant, elle génère des filaments de diamètre  $\delta < d_h$ , qui se fragmentent rapidement en un grand nombre de bulles sous Hinze, de taille  $\delta$ , sur un temps donné par la capillarité à cette échelle  $T_2(\delta)$ . b) Temps de vie  $T(\Delta, \delta)$  des bulles de taille  $\Delta$  générant une petite bulle de taille  $\delta$ , en fonction de  $\delta$ . Chaque rond coloré représente un événement de cassure. Le temps de vie moyen (carrés noirs) suit le temps capillaire à l'échelle de la bulle fille sans paramètre ajustable.

En alliant expériences et simulations numériques directes de bulles grandes devant  $d_h$ , nous montrons que la production de bulles sous Hinze est contrôlée par la capillarité à leurs échelles. Pour cela nous étudions les temps de vie individuels  $T(\Delta, \delta)$  des bulles mères de taille  $\Delta$  créant une petite bulle de taille  $\delta < d_h$  et une seconde de taille  $\sqrt[3]{\Delta^3 - \delta^3} \geq \delta$ . Nous proposons un mécanisme de cassure en deux étapes (voir figure 1) au cours duquel la bulle mère est d'abord déformée sur une échelle de temps donnée par la période des tourbillons à son échelle  $t_c(\Delta)$  et crée des filaments de diamètre  $\delta < d_h$ . Puis ces filaments se fragmentent en un grand nombre de bulles de taille  $\delta$  sur des temps donnés par la capillarité à leur échelle  $T_2(\delta)$ . Enfin, nous présentons un modèle de population basé sur ces temps de vie qui permet de retrouver la distribution en  $d^{-3/2}$  mesurée sous les vagues.

## Références

1. B. G. REICHL & L. DEIKE, Contribution of Sea-State Dependent Bubbles to Air-Sea Carbon Dioxide Fluxes, *Geoph. Res. Let.*, (2020).
2. C. GARRETT, M. LI, & D. FARMER, The Connection between Bubble Size Spectra and Energy Dissipation Rates in the Upper Ocean, *Journal of physical oceanography* **30**, 2163 (2000).