

Microalgues & Bulles de surface

- Microalgae & Surface bubbles -

Hélène de Maleprade¹, Juliette Pierre¹ et Éva TERNON²

¹ Institut Jean le Rond d'Alembert, Campus Jussieu, Paris

² Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Villefranche-Sur-Mer

Profil du stage : physique, matière molle, bio-mécanique. Expérimental.

Certaines efflorescences de microalgues toxiques marines sont à l'origine de nombreux cas d'irritations respiratoires et symptômes grippaux à travers le monde [1-5]. Parmi elles, l'espèce *Ostreopsis* cf. *ovata* (Fig. 1) est régulièrement impliquée dans ce phénomène [3-4, 6] qui inquiète d'autant plus les autorités sanitaires que l'aire de distribution d'*Ostreopsis* s'étend de plus en plus le long des côtes françaises [6,7]. *Ostreopsis* produit des toxines qui peuvent être transférées dans l'air [8-10] selon des mécanismes encore mal identifiés. Malgré leur forte affinité avec la phase aqueuse, les toxines dissoutes dans l'eau sont rapidement dégradées par la lumière et l'activité bactérienne [11] et la forme particulaire a été récemment identifiée comme étant la principale voie de transfert [10]. Les cellules elles-mêmes pourraient être le vecteur principal [12], mais alors comment les microalgues sont-elles propulsées de l'océan vers l'air que l'on respire ?

Les embruns sont un élément clé des échanges entre la mer et l'atmosphère [13]. Plusieurs mécanismes génèrent des embruns (Fig. 1B) : d'une part, le vent cisaille la crête des vagues et en arrache des gouttelettes, les spume drops ; d'autre part, des gouttes sont éjectées à l'occasion de l'explosion de bulles de surface ou lorsqu'une goutte impact un liquide. Lorsqu'une bulle s'ouvre, le film de liquide qui la sépare de l'atmosphère se rétracte en éjectant des petites gouttes, les film drops, puis la cavité collapse en un jet qui se fragmente en gouttes, les jet drops. Dans une collaboration récente entre le LOV et d'Alembert nous avons démontré que les jet drops emportent des microalgues, et que la concentration dans la goutte est globalement bien plus élevée que dans la mer [14].

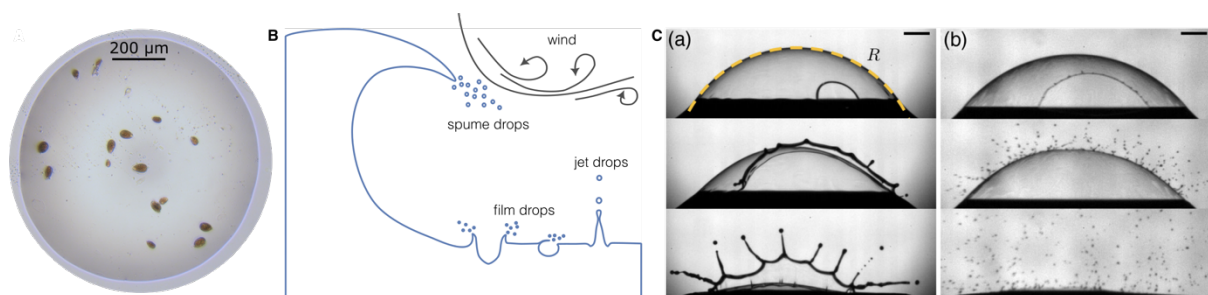


Figure 1 : **A.** Microalgues *Ostreopsis* capturées dans une jet drop. **B.** Mécanismes de production des embruns [14]. **C.** Éclatement d'une bulle de surface (a) eau pure, (b) avec des bactéries [15].

Il a été observé que des bactéries et des microplastiques de moins de 2 μm peuvent être piégés dans les films des bulles de surface de quelques microns d'épaisseurs et être ainsi éjectés vers l'atmosphère lors de la rupture du film. Qu'en est-il de microalgues plus grosses et motiles ? Les microalgues font typiquement de 10 μm pour l'algue modèle *Chlamydomonas reinhardtii* à 50 μm de diamètre pour la microalgue à importance écologique, *Ostreopsis*. Sont-elles emportées dans les films des bulles de surface ? Les film drops participent-elles à la dispersion aérienne des microalgues ?

Ce stage de M2 a pour objectif de développer un montage expérimental permettant d'observer la capture des algues dans des bulles de surface (comparable à celle de la figure 1C) et de quantifier la dispersion des microalgues dans l'air par les film drops. Spécifiquement, il s'agit de caractériser l'entraînement des microalgues *Chlamydomonas reinhardtii* et *Ostreopsis* cf. *ovata* dans les films des bulles de surface, évaluer leur dynamique et leur impact sur la fragmentation du film.

Un séjour à Villefranche-sur-Mer sera organisé au 5^e mois du stage, une que fois le montage et l'observation seront au point, et que l'analyse des données en lien avec *Chlamydomonas* aura donné ses premiers résultats. Ce séjour sera consacré à l'étude spécifique d'*Ostreopsis* et requiert une grande efficacité, garantie par la préalable prise en main des expériences. L'étudiant sera logé au bâtiment d'hébergement de l'institut de la mer de Villefranche (IMEV) avec d'autres étudiants de Master 2.

Ce stage a reçu le soutien financier du réseau DYNAMIQUES de Sorbonne Université qui promeut les collaborations interdisciplinaires autour de la question centrale « Comment les systèmes naturels et culturels se transforment-ils au cours du temps, quels mécanismes assurent leur maintien et quelles sont les causes de leur disparition ? »

A l'issue du stage une thèse peut être envisagée via les bourses doctorales.

Références

1. Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Fattorusso, E., Forino, M., Magno, G. S., Tartaglione, L., ... & elchiorre, N. (2006). The Genoa 2005 outbreak. Determination of putative palytoxin in Mediterranean *Ostreopsis ovata* by a new liquid chromatography tandem mass spectrometry method. *Analytical chemistry*, 78(17).
2. Fleming, L. E., Backer, L. C., & Baden, D. G. (2005). Overview of aerosolized Florida red tide toxins: exposures and effects. *Environmental Health Perspectives*, 113(5).
3. Berdalet, E., Pavaux, A. S., Abós-Herrándiz, R., Travers, M., Appéré, G., Vila, M., ... & Lemee, R. (2022). Environmental, human health and socioeconomic impacts of *Ostreopsis* spp. Blooms in the NW Mediterranean. *Harmful Algae*, 119.
4. Paradis, C., Chomérat, N., Vaucel, J. A., Antajan, E., Labes, P., Rappoport, M., & Labadie, M. (2024). Impacts on human health potentially caused by exposure to an unprecedented *Ostreopsis* spp bloom in the Bay of Biscay, French Basque Coast. *Wilderness & Environmental Medicine*, 35(1).
5. Rolton, A., Kumanan, K., Murray, S. A., Thompson, L., Rhodes, L., Smith, K. F., ... & Greenhough, H. (2026). *Karenia cristata* from the 2025 South Australian harmful algal bloom produces potent toxic compounds. *Scientific Reports*.
6. Chomérat, N., Antajan, E., Auby, I., Bilien, G., Carpentier, L., Casamajor, M. N. D., ... & Amzil, Z. (2022). First characterization of *Ostreopsis* cf. *ovata* (Dinophyceae) and detection of ovatoxins during a multispecific and toxic *Ostreopsis* bloom on French Atlantic Coast. *Marine drugs*, 20(7).
7. Drouet, K., Jauzein, C., Herviot-Heath, D., Hariri, S., Laza-Martinez, A., Lecadet, C., ... & Siano, R. (2021). Current distribution and potential expansion of the harmful benthic dinoflagellate *Ostreopsis* cf. *siamensis* towards the warming waters of the Bay of Biscay, North-East Atlantic. *Environmental Microbiology*, 23(9).
8. Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Iacovo, E. D., Fattorusso, E., Forino, M., Tartaglione, L., ... & Penna, A. (2014). First finding of *Ostreopsis* cf. *ovata* toxins in marine aerosols. *Environmental science & technology*, 48(6).
9. Medina-Pérez, N. I., Dall'Osto, M., Viure Feliu, L., Moyano, E., & Berdalet, E. (2021). Toxins aerosolization produced during *Ostreopsis* cf. *ovata* bloom
10. Ternon, E., Dinasquet, J., Cancelada, L., Rico, B., Moore, A., Trytten, E., ... & Lemée, R. (2024). Sea-air transfer of *ostreopsis* phycotoxins is driven by the chemical diversity of the particulate fraction in the surface microlayer. *Environmental Science & Technology*, 58(42)
11. Ternon, E., Thomas, O. P., Lemee, R., & Gerwick, W. H. (2022). Rapid Biotic and Abiotic Transformation of Toxins produced by *Ostreopsis* cf. *ovata*. *Marine drugs*, 20(12)
12. Casabianca, S., Casabianca, A., Riobó, P., Franco, J. M., Vila, M., & Penna, A. (2013). Quantification of the toxic dinoflagellate *Ostreopsis* spp. by qPCR assay in marine aerosol. *Environmental science & technology*, 47(8)
13. Deike, L. (2022). Mass transfer at the ocean–atmosphere interface: the role of wave breaking, droplets, and bubbles. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 54(1)
14. Figà Talamanca, E., Pierre, J., Ternon, E., Cohen, P., De Rijcke, M. & de Maleprade, H. (2026). Hydrodynamics of microalgae in sea-sprays. Submitted to *Nature*.
15. Poulain, S., & Bourouiba, L. (2018). Biosurfactants change the thinning of contaminated bubbles at bacteria-laden water interfaces. *Physical review letters*, 121(20)

Internship profile: Physics, soft matter, biomechanics. Experimental work.

Blooms of certain toxic marine microalgae are responsible for numerous cases of respiratory irritation and flu-like symptoms worldwide [1–5]. Among these, the species *Ostreopsis* cf. *ovata* (Fig. 1) is regularly implicated in such events [3–4, 6], raising growing concerns among public health authorities as its geographical distribution continues to expand along the French coastline [6,7]. *Ostreopsis* produces toxins that can be transferred into the air [8–10] through mechanisms that remain poorly understood. Despite their strong affinity for the aqueous phase, toxins dissolved in seawater are rapidly degraded by sunlight and bacterial activity [11], and particulate matter has recently been identified as the main pathway for airborne toxin transfer [10]. The microalgal cells themselves could be the primary carriers [12], but how are these microalgae propelled from the ocean into the air we breathe?

Sea spray plays a key role in exchanges between the ocean and the atmosphere [13]. Several mechanisms contribute to sea spray generation (Fig. 1B). First, wind shears the crests of waves, tearing off droplets known as spume drops. Second, droplets are ejected when bubbles burst at the water surface or when a drop impacts a liquid surface. When a bubble bursts, the thin liquid film separating its interior from the atmosphere retracts, ejecting small droplets known as film drops. The remaining cavity then collapses, producing a jet that breaks up into droplets known as jet drops. In a recent collaboration between LOV and ∂ Alembert Institute, we demonstrated that jet drops carry microalgae and that their concentration within the droplets is generally much higher than in the surrounding seawater [14].

It has been observed that bacteria and microplastics smaller than 2 μm can become trapped in the few-micrometre-thick films of surface bubbles and subsequently be ejected into the atmosphere when the films rupture. But what happens to larger, motile microalgae? Microalgae typically range in size from 10 μm for the model organism *Chlamydomonas reinhardtii* to 50 μm in diameter for the ecologically important species *Ostreopsis*. Can they be entrained into the films of surface bubbles? Do film drops contribute to the airborne dispersal of microalgae?

The aim of this Master's internship is to develop an experimental set-up to observe the capture of microalgae in surface bubble films (similar to that shown in Fig. 1C) and to quantify their airborne dispersal through film drops. More specifically, the project will investigate the entrainment of *Chlamydomonas reinhardtii* and *Ostreopsis* cf. *ovata* into surface bubble films, characterise their dynamics and assess their impact on film fragmentation.

A research visit to Villefranche-sur-Mer will be organised during the fifth month of the internship, once the experimental set-up and imaging techniques have been established and the first results from the experiments with *Chlamydomonas* have been obtained. This visit will focus specifically on *Ostreopsis* and will require efficient experimental work, made possible by the experience gained during the initial stages of the internship. The student will be accommodated in the residence of the Institut de la Mer de Villefranche (IMEV), alongside other Master's students.

This internship is financially supported by Sorbonne University's DYNAMIQUES network, which promotes interdisciplinary collaborations addressing the central question: "How do natural and cultural systems evolve over time, what mechanisms ensure their persistence, and what causes their disappearance?"

Following the internship, there may be an opportunity to pursue a PhD, subject to obtaining doctoral funding.