

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **23 octobre 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Monsieur Bastien ISABELLA**

Titre de la thèse : Congélation de bulles dans un liquide

Résumé



Le comportement des bulles de gaz dans un liquide lors de procédés de solidification est un phénomène crucial dans de nombreux domaines, allant des sciences environnementales, notamment pour l'étude des carottes glaciaires, aux procédés industriels tels que la métallurgie, la croissance de monocristaux de saphir ou la fabrication de matériaux bio-inspirés. Les bulles peuvent notamment être responsables de la formation de porosité dans les solides, ce qui altère leurs propriétés mécaniques ou optiques, mais elles peuvent aussi être exploitées pour concevoir des matériaux poreux fonctionnels. Par ailleurs, les bulles sont des entités complexes, susceptibles d'adopter divers comportements au cours de la solidification. Elles peuvent nucléer et croître dans le liquide, interagir entre elles, fusionner par coalescence ou par diffusion selon la composition du liquide. Elles peuvent également se déformer au contact du front de solidification, générant des bulles piégées aux formes variées, allant de bulles sphériques à des bulles cylindriques ou d'autres formes intermédiaires. Bien que ces phénomènes soient largement identifiés, leur observation in situ reste difficile dans le contexte spécifique de la solidification, et la dynamique des bulles demeure encore peu connue. De plus, la présence de tensioactifs ou d'autres solutés peut fortement modifier les comportements observés. Dans ce manuscrit de thèse, nous étudions in situ la dynamique globale des bulles lors de la solidification en utilisant la microscopie cryo-confocale à fluorescence. Cette méthode permet de suivre avec précision la progression du front de solidification eau-glace ainsi que les bulles qu'il rencontre, tout en contrôlant rigoureusement le gradient de température et la vitesse de solidification. Nous nous concentrons principalement sur l'étude de la dynamique de nucléation des bulles, des écoulements induits par la solidification en présence de bulles, ainsi que de l'interaction de ces dernières avec le front en fonction des paramètres contrôlés de solidification. Nous mettons en évidence l'évolution de la fréquence de nucléation des bulles et discutons de l'influence des interactions front-bulles sur cette fréquence. Ces observations nous permettent d'estimer une concentration critique de nucléation spécifique à notre système. Enfin, nous explorons les mécanismes de transport susceptibles d'être induits par la présence de bulles durant la solidification, en évaluant leur intensité et leur influence potentielle sur la dynamique globale des bulles. Nos résultats montrent que, dans la majorité des cas, ces écoulements restent limités et inférieurs aux prévisions théoriques. Cette étude constitue ainsi une base expérimentale pour

mieux comprendre, maîtriser, et potentiellement contrôler la dynamique des bulles dans les procédés de solidification.

Mots-clés : Bulle, Solidification, Cryomicroscopie confocale, Nucléation, Microfluidique, Marangoni,