

Université de Lyon
ED de Chimie de Lyon
Proposition de sujet de thèse pour la campagne des contrats doctoraux 2019

Formation de cristaux de glace sous cavitation ultrasonore.
Ice crystal nucleation under ultrasonic cavitation.

Laboratoire d'accueil : LAGEPP UMR CNRS/UCBL 5007
Encadrants : Stéphane LABOURET, Roman PECZALSKI, Claudia COGNE
Contact : stephane.labouret@univ-lyon1.fr

Contexte

Le contrôle de la taille des cristaux de glace est très important pour les procédés industriels tels que la lyophilisation des produits pharmaceutiques en flacons, la conservation des tissus vivants, la congélation des produits alimentaires, la fabrication du coulis de glace. Une taille adéquate des cristaux permet de préserver correctement la texture du produit et/ou lui donner les propriétés finales souhaitées.

La formation d'un cristal de glace est un processus probabiliste qui est favorisé par un fort sous refroidissement du liquide (abaissement de la température du liquide en dessous de sa température de fusion). Le premier cristal formé provoque la formation de nouveaux cristaux et propage la cristallisation à tout le volume. Le nombre de ces cristaux secondaires est d'autant plus grand que le sous refroidissement est grand, et leurs tailles finales diminuent. Obtenir de petits cristaux par un fort sous-refroidissement est incertain puisque la germination spontanée des cristaux peut survenir avant d'atteindre le sous refroidissement requis. Il est envisageable d'obtenir des tailles réduites de cristaux à sous refroidissement modéré en produisant simultanément un grand nombre de germes de glace.

Les bulles de cavitations produites par ultrasons sont une source de germination de cristaux de glaces dès u sous-refroidissement qu'il est très probable d'atteindre sans germination spontanée. La difficulté vient de ce que pour les basses fréquences ultrasonores (typiquement de 20 kHz à 60kHz) utilisées d'ordinaire, les cristaux de glaces qui germes risque d'entraver le développement du champ de bulles qui se développe en même temps, avec pour conséquence un nombre de cristaux formés peu supérieur à celui d'une germination spontanée. Leur utilisation pour la cristallisation de la glace en flacon doit en plus prendre en compte le comportement vibratoire du flacon qui à ces fréquences vibre dans son ensemble de manière versatile vis-à-vis des paramètres (régularité des flacons, points de contacts, niveau exacte de remplissage, ...)

La production de cristaux de glaces ordinaire (type Ih) d'eau serait indirectement due à la nucléation de glace haute température VI et VII au voisinage de la bulle de cavitation inertielle à l'issue de son mouvement d'implosion en raison, car les conditions de pression et de température dans le liquide correspondent à un très fort sous refroidissement relativement à ces types de

glaces [1,2]. Si la glace VII semble avoir été détectée expérimentalement [3], le mécanisme de passage de ces glaces haute température à la glace ordinaire ne semble pas être identifié à ce jour.

L'objectif global du sujet proposé est d'apporter une meilleure compréhension sur le mécanisme qui induit la germination de la glace autour de la bulle par une approche théorique et expérimentale, et de concevoir une procédure pratique pour créer simultanément un grand nombre de cristaux par l'emploi simultané d'un grand nombre de bulles de cavitation.

Sujet proposé

La confrontation des résultats expérimentaux et théorique dans l'espace des paramètres expérimentaux accessibles (fréquence et pression acoustique, sous-refroidissement) des zones de formation des glaces haute température (type VI et VII) est une voie pour évaluer la réalité de ce mécanisme. Dans ce cadre, l'étude doit être étendue à des pressions et fréquences acoustiques que le modèle développé durant le projet ANR 'SONONUCLICE' ne permet que partiellement d'atteindre, c'est-à-dire jusqu'à des fréquences de plusieurs centaines de KHz et des pressions acoustiques suffisamment élevées pour atteindre la limite de formation de ces cristaux.

Le premier travail sera de développer un modèle purement numérique qui puisse décrire, dans l'intervalle souhaité des paramètres expérimentaux, la dynamique d'une bulle sphérique, les échanges de chaleur et de matière entre le gaz de la bulle et le liquide au voisinage de la bulle afin de déterminer les conditions de pressions et températures dans ce dernier durant les quelques nano-secondes autour de la fin du mouvement d'implosion de la bulle de cavitation. La connaissance de ces conditions permettra d'estimer la probabilité de formation des cristaux de glace haute température.

L'étude numérique guidera également les choix des conditions pour mettre en œuvre le procédé ultrasonore permettant de synchroniser le déclenchement de la cristallisation simultanément par un grand nombre de bulles, car la caractérisation finale des cristaux relève d'une expérimentation gourmande en temps de main d'œuvre (surfaçage et analyse des cristaux en chambre froide) et sera limitée à la validation du procédé.

Profil souhaité du candidat

Diplôme Ingénieur ou Master en sciences physiques, dans les domaines de la mécanique, acoustique, énergétique ou des mathématiques appliquées en calculs-modèles numériques. Le candidat sera amené à réaliser des simulations numériques en mécanique des fluides et transferts thermiques, mais aussi des expériences utilisant des sondes acoustiques, du traitement du signal et travail en chambre froide.

Références :

[1] C. Cogné, S. Labouret, R. Peczkalski, O. Louisnard, F. Baillon, F. Espitalier., Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 29, 447-454 (2016).

[2] C. Cogné, S. Labouret, R. Peczkalski, O. Louisnard, F. Baillon, F. Espitalier, Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 28, 185-191 (2016).

[3] V. Rakesh Kumar and P. Prem Kiran, J. Opt. Soc. Am. B 33, 1157-1168 (2016).