

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **20 octobre 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur ISSENMANN Bruno**

Titre des travaux : « *Dynamique de l'eau et des solutions à basse température, du liquide stable au liquide fortement surfondu* »



Résumé

La viscosité de l'eau est une grandeur qui intervient dans de nombreux processus naturels et industriels dans des conditions thermodynamiques très variées. Pourtant, bien qu'elle soit connue sur une très large gamme de température et de pression, elle reste très mal connue dans certaines conditions, et en particulier dans le domaine surfondu (liquide en-dessous de sa température de fusion à la pression considérée) ou sous très haute pression (au-delà de 1GPa).

L'eau surfondue est un état métastable de l'eau, qui existe dans de nombreux processus biologiques et géologiques : elle est très présente par exemple dans les gouttelettes de certains nuages (jusqu'à -40°C et à des pressions pouvant atteindre quelques centaines de bars à cause de la courbure de la gouttelette), ou en cryopréservation naturelle ou artificielle. Dans cette dernière application, elle est systématiquement associée à un soluté qui facilite la surfusion, voire la vitrification de l'eau. L'eau sous très haute pression existe dans la croûte terrestre, et a un rôle particulièrement important dans les zones de subduction. Dans ce travail, nous nous sommes attachés à mesurer la viscosité de l'eau dans ces deux zones très peu explorées du diagramme de phase

Nous avons pu mesurer la viscosité de l'eau surfondue jusqu'à 3000 bars, en atteignant des températures de 20 à 34°C en-dessous de son point de fusion suivant la pression considérée. Nous avons également mesuré la viscosité de l'eau lourde surfondue sous pression atmosphérique. Ces mesures ont permis d'étudier le rôle du changement d'isotope de l'hydrogène dans la dynamique de l'eau.

Enfin, la plupart des processus artificiels ou naturels font intervenir de l'eau contenant des solutés. Nous nous sommes donc intéressés à plusieurs solutions aqueuses : les solutions diluées eau-glycérol, ce qui nous a permis de montrer que notre méthode de mesure était utilisable pour des viscosités allant jusqu'à 1Pa.s (1000 fois celle de l'eau à pression et température usuelles). Nous avons également pu mesurer le coefficient de diffusion du glycérol dans ces conditions grâce à une technique de RMN-DOSY.

Pour pouvoir étudier les solutions d'intérêt géologique, nous avons plus récemment pu obtenir des mesures expérimentales fiables et précises de la viscosité de solutions de NaCl surfondues à pression atmosphérique. Nous avons également pu adapter la mesure à des échantillons placés dans des cellules à enclume de diamant, pouvant atteindre des pressions de l'ordre du GPa.

L'eau liquide à basse température est présente également dans les glaciers, où des particules peuvent être piégées dans la glace. Ces particules sont entourées d'un film d'eau liquide de très faible épaisseur, qui joue probablement un rôle important dans le déplacement de ces particules au sein de la glace sous l'effet d'un gradient de température. Ce déplacement peut devenir significatif sur des temps géologiques. C'est le sujet d'une thèse qui vient de commencer.

Enfin, nous présentons aussi des expériences qui ont été réalisées en turbulence d'ondes, en particulier à la surface d'un fluide stratifié, où une cascade turbulente des grandes échelles vers les petites échelles est observée sur les ondes se propageant à l'interface entre deux fluides surnageant l'un par-dessus l'autre.